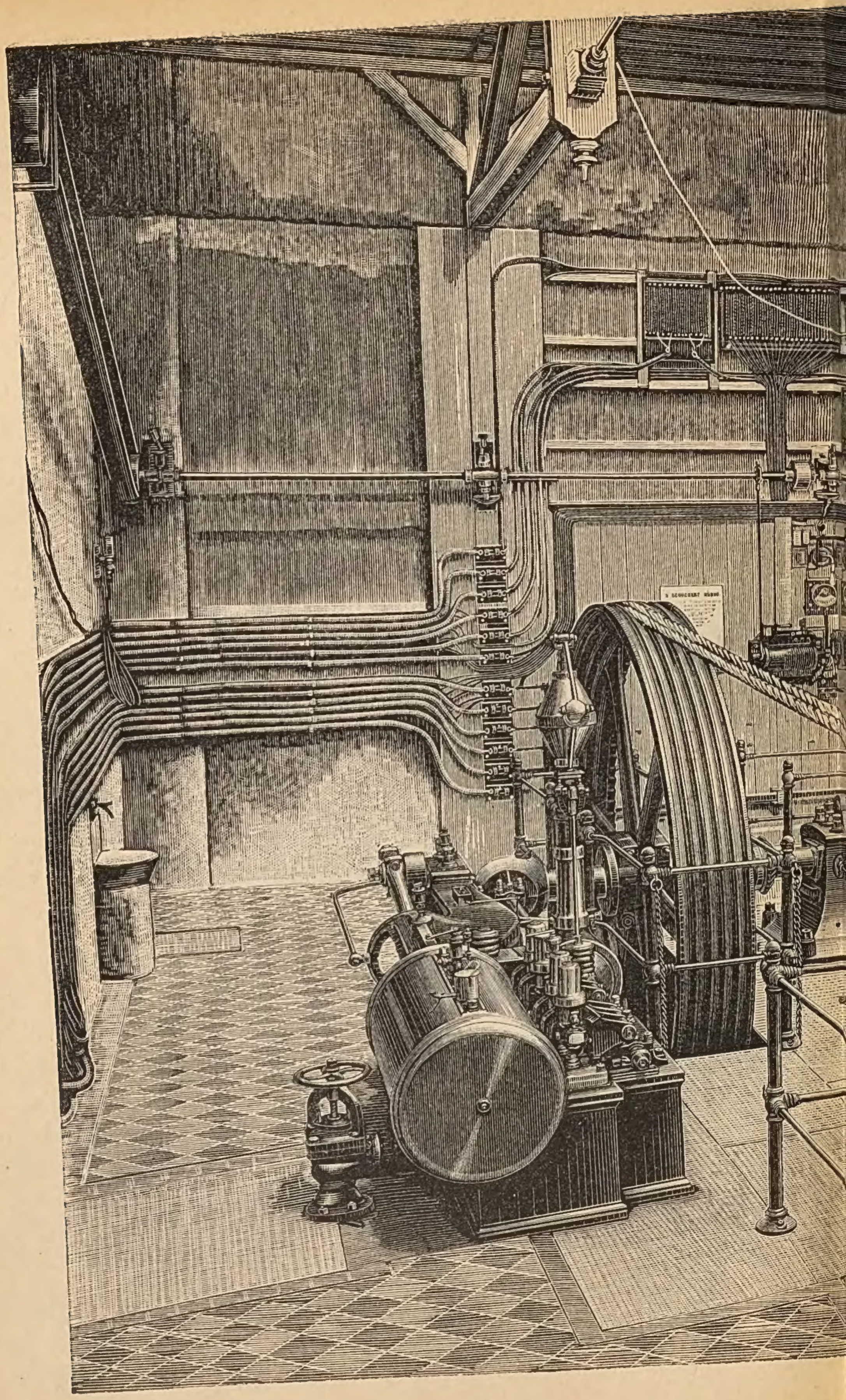
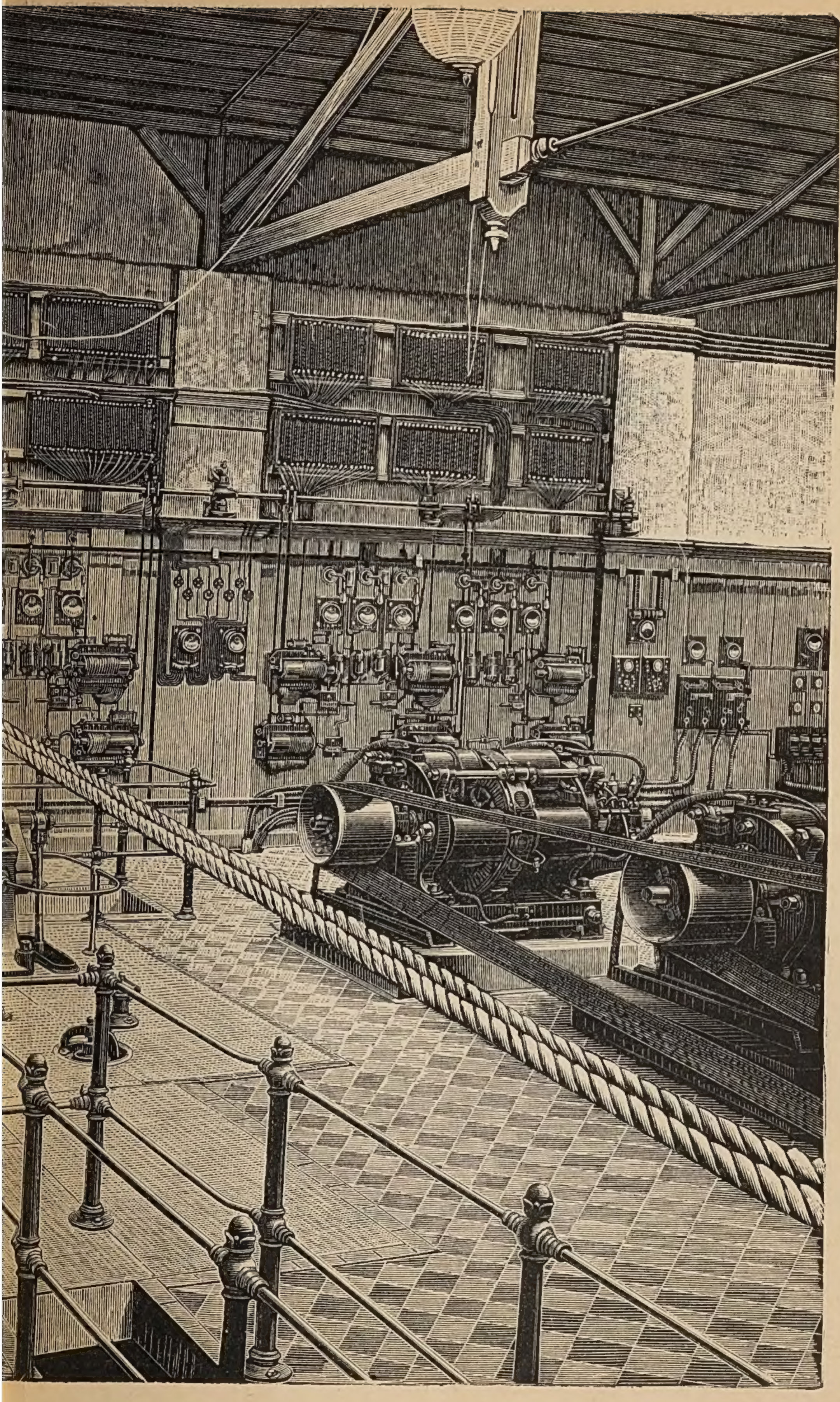




Die

Erzeugung und Verteilung

der

Elektrizität

in

Zentral-Stationen

von

Dr. Martin Krieg.

Band II.

Die Erzeugung und Verteilung der Elektrizität durch Gleichstrom-Maschinen mit und ohne Verbindung von Akkumulatoren.

Mit 7 Vollbildern, Tafeln, Tabellen und 130 Text-Illustrationen.

Magdeburg 1888.

Druck und Verlag: Faber'sche Buchdruckerei A. & R. Faber.

Alle Rechte vorbehalten!

Vorwort.

Die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie in Zentralstationen kann entweder durch Wechselstrommaschinen und Transformatoren oder durch Gleichstrommaschinen mit und ohne Benutzung von Akkumulatoren erfolgen. Dem ersten Teile dieses Problems haben wir bereits im ersten Bande unserer Arbeit eine ausführliche Betrachtung gewidmet, der vorliegende Band beschäftigt sich mit dem zweiten Teile desselben.

Die Gleichströme haben bisher eine vielseitigere Verwendung als die Wechselströme gefunden. Man kann dieselben in weitgehendster Weise nicht nur den Beleuchtungszwecken dienstbar machen, sondern kann sie auch zum Betriebe von Elektromotoren benutzen. Wie das elektrische Licht und die damit verbundenen Vorteile bezüglich sanitärer Anforderungen die Einführung der Elektrizität im grossen Massstabe zu einer nicht mehr sich zurückdrängen lassenden Anforderung des heutigen Lebens machen, so scheint uns auch die Lösung der Aufgabe, Fernbetriebe mittelst des elektrischen Stromes aus Zentralen zu bewegen, für die Zukunft von

eminenter Bedeutung. In Amerika sind bereits tausende von Elektromotoren, welche die von der Zentralstelle gelieferte Energie wiederum in mechanische Arbeit umsetzen, im Betriebe; auch England macht in dieser Richtung grosse Fortschritte. Bei uns in Deutschland ist es das Verdienst der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, diesem grossartigen Gedanken zuerst eine praktische Gestalt gegeben zu haben. Um nur anzudeuten, von welcher Bedeutung diese Frage für das Kleingewerbe und den Haushalt werden wird, mag erwähnt werden, dass schon jetzt die Elektromotoren zum Betriebe von Nähmaschinen, medizinischen Apparaten, Kaffee- und Reismühlen, Drehbänken, Ventilatoren, Druckpressen, Kreis- und Bandsägen, Krahnen, Warenaufzügen, Transmissionen u. s. w. u. s. w. verwendet werden.

In gleicher Weise denkt man auch daran, von Zentralstationen aus die chemischen Eigenschaften der Gleichströme auf dem Gebiete der Elektrolyse, zum Niederschlagen von Metallen, zum Laden von Akkumulatoren etc., weiter die Verwendbarkeit des Stromes zum elektrischen Löten und Schweissen von beliebigen Metallen, ein Gebiet, das erst in der neuesten Zeit die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, dann die Wärmeentwicklung desselben etc. etc. zu benutzen.

In Anbetracht dieser Bedeutung, welche die Frage der Erzeugung und Verteilung von Gleichströmen im In- und Auslande gewinnt, schien dem Verfasser ein Versuch nicht ungerechtfertigt, alle Fortschritte und Be-

strebungen auf diesem Gebiete, sämtliche hier und da in den Fachzeitschriften zerstreut erschienenen wertvollen Untersuchungen und Arbeiten, welche einzeln ja doch nur ein schwaches Bild in der Tragweite dieses hochbedeutsamen Fortschrittes der praktischen Elektrotechnik geben können, zu einem übersichtlichen Gesamtbilde zusammen zu fassen.

Die Arbeit beginnt mit einer Übersicht über die bekanntesten und für Zentralstationen besonders geeigneten Gleichstrommaschinen. Darauf findet die Frage der Akkumulatoren eine eingehende Würdigung. Ein dritter Abschnitt beschäftigt sich mit den Verteilungssystemen, ihren Vorzügen und Nachteilen, ein vierter mit den dieselben ergänzenden Reguliervorrichtungen, ein fünfter bringt das Wissenswerteste über Leitungsmaterialien, ihre Verlegung, ihre Prüfung etc., während der folgende Abschnitt in ausführlicher Weise einer Besprechung der Nebenapparate einer Zentrale gewidmet ist. Hieran schliessen sich eingehende Erörterungen über den Bau, Betrieb und die Rentabilität von Zentralen. Im achten Abschnitt werden mehrere der bedeutendsten Zentralen eingehend besprochen und beschrieben. Das Schlusskapitel bietet einige Methoden über die Berechnung von Leitungsnetzen für Zentralstationen.

Der Verfasser war bemüht, den Stoff in ein möglichst allgemeinverständliches Gewand zu kleiden und hofft, dass die vorliegende Arbeit, durch welche eine bisher noch vorhandene Lücke in der deutschen elektro-

technischen Litteratur ausgefüllt werden dürfte, nicht nur dem Elektrotechniker vom Fach, sondern auch denen, die nicht gewohnt oder genügend vorbereitet sind, um dergleichen Probleme von ihrer speziell wissenschaftlichen Seite aus zu studieren, gerade zu einer Zeit, wo die hier behandelte Frage alle beteiligten Kreise lebhaft beschäftigt, willkommen sein wird.

Die beigefügten Vollbilder, Figuren und Skizzen dürften wesentlich dazu beitragen, die Brauchbarkeit der Arbeit zu erhöhen.

Der Verfasser übergiebt dieselbe der Öffentlichkeit mit dem Wunsche und der Hoffnung, dass der vorliegende Band die gleiche wohlwollende Aufnahme und Beurteilung finden möge, wie der erste sie gefunden hat. Vorschläge betreffs Verbesserungen und Erweiterungen des Buches sind jederzeit willkommen und werden bereitwilligst für spätere Auflage benutzt werden.

Magdeburg, im Juli 1888.

Dr. Martin Krieg.

Inhalt.

Seite

Vorwort III

Inhaltsverzeichnis VII

Illustrationsverzeichnis XII

I. Gleichstrommaschinen 1

Trommelringmaschinen. — Die Gramme'sche Gleichstrommaschine. — Maschine von Sautter, Lemonnier & Co. in Paris. — Maschine von Schumann & Köppe in Leipzig. — Bürgin-Maschine. — Maschinen von E. R. Crompton in England und R. Alioth & Cie. in Basel. — Maschine von Gisbert Kapp. — Maschine von W. H. Allen & Cie. in London. — Maschinen von C. & E. Fein in Stuttgart. — Maschine von Gebr. Naglo in Berlin. — Maschine von Elwell Parker. — Maschine von J. Einstein & Cie. in München. — Phönix-Dynamo von Patterson & Cooper. — Manchester-Dynamo von Mather & Platt. — Maschine von Kremenezky, Mayer & Cie. in Wien. — Maschine der elektrotechnischen Fabrik Cannstadt. — Maschine der Fabrik Örlikon bei Zürich. — Maschine von Schuckert in Nürnberg. — Maschine von Schorch & Wilk in Darmstadt.

Flachringmaschinen. — Flachringmaschine von Schuckert in Nürnberg. — Maschine von R. J. Gülcher. — Maschinen der Aktiengesellschaft Helios in Ehrenfeld-Köln und der Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft in Berlin.

Seite

— Normalmaschinen der Aktiengesellschaft Helios. — Flachringmaschine von Spieker & Co. in Köln. — Correns' Quadratringmaschine (Fa. H. G. Möhring in Frankfurt a. M.). — Quadratringmaschine von J. Einstein & Co. — Innenpolmaschinen von C. & E. Fein in Stuttgart, Ganz & Cie. in Budapest und Siemens & Halske in Berlin. — Brushmaschinen.

Maschinen mit Trommelarmatur und v. Hefner-Alteneck'scher Wicklung. — Maschinen von Siemens & Halske. — Edison-Maschine. — Maschine der allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. — Maschinen von Cuènod Sautter & Cie., System Thury, in Genf. — Dynamomaschine von Garbe, Lahmeyer & Cie. in Aachen.

II. Die Akkumulatoren 53

Versuche der Franzosen Planté und Faure. — Wirkungsgrad. — Maximal-Kapazität. — Akkumulatoren der Electrical Power Storage Company, London. — Akkumulatoren von Elwell Parker & Co., Wolverhampton. — System Julien der Fabrik J. L. Huber, Hamburg. — Akkumulatoren von de Khotinsky. — Akkumulatoren nach dem Farbaky-Schenek-System. — von Waltenhofen's Untersuchungen. — Akkumulatoren des Tudor'schen Systems (Fa. Büsche & Müller). — Untersuchungen des Prof. Kohlrausch in Hannover. — Higgin's Versuche mit den Brush-Akkumulatoren. — Untersuchungen der Reckenzaun'schen Akkumulatoren von Waltenhofen. — Anwendungen der Akkumulatoren in der Praxis.

III. Die Verteilungs-Systeme 75

A. Die direkten Verteilungssysteme. — Die Reihenschaltung. — System von Bernstein-Houston. — Die Parallelschaltung. — Hauptverteilungspunkte. — Gemischte Schaltung. — Reihenschaltung von Gruppen. —

Seite

Schaltungsanordnung von R. Alioth in Basel. — Gruppenschaltung von Reihen. — Benutzung der Parallelschaltung von Bernstein und Edison. — Dreileitersystem.

B. Die indirekten Verteilungssysteme. — Akkumulatorensysteme. — Huber's Anordnung von Akkumulatoren für Zentralen. — Monnier-Crompton'sches Akkumulatorensystem.

IV. Die Regulierungs-Systeme 99

Patentbeschreibung Edison's. — System von Fritsche. — Wesen des Ringsystems. — M. Baumgardt's Regulierungssystem. — Regulierung von Elihu Thomson. — Handregulatoren. — Automatischer Spannungsregulator von O. Schulze in Strassburg. — Apparat der elektrotechnischen Fabrik Cannstadt. — Automatischer Spannungsregulator von Fischinger, Dresden. — Fernspannungsregulator von Lahmeyer. — Regulierungssystem von Alioth & Cie. in Basel.

V. Die Leitungen 135

Oberirdische Leitungen. — System Flad. — Unterirdische Leitungen (Tunnelanlagen, Einziehsysteme, festgelegte Leitungen). — Leitungskanäle von Arnold & Cramer, Chenewoth, Aird. — System Brook. — Forbes' Kupferröhren. — Isolierung von Fortin-Hermann. — Bleikabel der Firmen Felten & Guilleaume in Mülheim a. Rh. und Siemens & Halske in Berlin. — Bestandteile der Patent-Bleikabel. — Patent-Blei-Doppelkabel. — Abteilungs- oder Sektionskabel. — Zusammenstellung der Patent-Bleikabel. — Endverschlüsse. — Gerade Muffen. — T-Muffen. — Abzweig- und Verteilungskästen. — Prüfdraht.

VI. Nebenapparate 165

Strommesser. — Uppenborn's Messinstrumente. — Strommesser von Siemens & Halske. — Strommesser von F.

Seite

Kohlrausch. — Hummel's Strommesser. — Strommesser von R. Alioth & Cie. — Konstruktion von Siemens und Halske. — Lampenzähler der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. — Spannungsmesser der Fa. Hartmann & Braun. — Uppenborn's neuer Strom- und Spannungsmesser. — Schuckert's Spannungsmesser (System Hummel). — Spannungsmesser von R. Alioth & Cie. — Neue Strom- und Spannungsmesser der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin. — Spannungsmesser mit optischer und akustischer Signalgebung. — Spannungsmesser von Siemens & Halske. — Spannungsmesser und Kontroll-Apparat von Brückner, Ross & Cons., Wien. — Spannungswecker von Siemens & Halske. — Selbstregistrierende Messinstrumente von Schukert. — Spannungsregistrier-Apparat von Siemens & Halske. — Erdschlussanzeiger. — Erdschlussanzeiger der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. — Tachometer von Buss, Sombart & Cie., Magdeburg und Dr. Horn, Leipzig. — Elektrizitätsmesser von Edison, Ferranti und Dr. Aron. — Elektrizitätsmesser von Siemens & Halske. — Ausschalter. — Umschalter. — Sicherheitsschaltungen. — Regulier- und Schaltapparat der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

VII. Bau, Betrieb und Rentabilität der Zentralen 213

Wer soll elektrische Zentralen bauen? — Welche Anforderungen muss man an eine Zentralstation stellen können? — Vielseitige Verwendbarkeit des Stromes. — Tag- und Nachtbetrieb. — Welches System verdient vor den anderen den Vorzug? — Ermittelung der Betriebskosten und Rentabilitätsberechnungen.

VIII. Beschreibung grösserer Zentralen 257

Zentrale der Edison Electric Light Cie. von 1882. — Zentrale in Mailand. — Deutschlands erste Zentrale in

Seite

Hannover. — Hamburger Zentrale. — Vier Zentralen in Berlin. — Einrichtung von Zentralen in Cöln, Breslau, Dessau, Salzburg, Elberfeld, Darmstadt, Wien etc. — Zentralen Englands, Frankreichs und Amerikas. — Beschreibung der Zentralstation der Westinghouse Electric Company zu Trenton, N. Y. — Beschreibung der Berliner Zentralen: Mauerstrasse und Markgrafenstrasse. — Elektrische Beleuchtungszentrale in Lübeck. — Beschreibung der von Siemens & Halske neu errichteten Zentralanlage am Hofkamp in Elberfeld. — Anlage in Amsterdam. — Zentralstation Neue Friedrichstrasse in Berlin, Anwendung von Akkumulatoren, System de Khotinsky. — Beschreibung des Projektes in Barmen.

IX. Einige Methoden zur Berechnung des Leitungsnetzes . 303

Untersuchungen von Hohenegg. — Methode von Fritsche. — Regulierungsmethoden von Baumgardt.

Illustrations-Verzeichnis.

Titelbild: Zentrale Lübeck.

		Seite
Fig. 1.	Original Gramme-Maschine	5
„ 2.	Maschinen von R. Alioth & Cie., Basel	8
„ 3.		9
„ 4.	Maschine von R. E. Crompton	11
„ 5.	Diagramm einer Crompton-Maschine	10
„ 6.	Diagramm einer Maschine von C. & E. Fein, Stuttgart	13
„ 7.	Zweipolige Dynamo-Maschine von C. & E. Fein, Stuttgart	14
„ 8.	Dynamo-Maschine von Gebr. Naglo, Berlin	15
„ 9.	Diagramm einer vierpoligen Maschine von C. & E. Fein	17
„ 10.	Vierpolige Maschine von C. & E. Fein	18
„ 11.	Maschine von J. Einstein & Cie., München	20
„ 12.	Maschine von Kremenezky, Mayer & Cie., Wien	22
„ 13.	Maschine der elektrotechnischen Fabrik Cannstadt	24
„ 14.	Maschine der Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich	25
„ 15.	Neue Form einer Maschine von Schuckert, Nürnberg	26
„ 16.	Diagramm einer vierpoligen Maschine von Schorch & Wilk, Darmstadt	28
„ 17.	Sechspolige Maschine von Schuckert, Nürnberg	29
„ 18.	Gülcher-Maschine der Berliner Maschinen-Bau-Aktien-gesellschaft	32
„ 19.	Präzisionslichtmaschine der Aktiengesellschaft „Helios“, Ehrenfeld-Köln	33
„ 20.	Diagramme einzelner Teile einer „Normalmaschine“ der Aktiengesellschaft „Helios“	34
„ 21.		34
„ 22.		35

Seite

Fig. 23. „Normalmaschine“ der Aktiengesellschaft „Helios“ . . 34
„ 24. Flachringmaschine der Firma Spiecker & Co. in Köln . 36
„ 25. Quadratringmaschine von H. G. Möhring, Frankfurt a. M. 37
„ 26. Maschine mit Innenpolen von C. & E. Fein, Stuttgart . 39
„ 27. Diagramm einer Maschine mit Innenpolen 40
„ 28. Grösste Dynamo-Maschine der Welt von Brush . . . 43
„ 29. Maschine von Siemens & Halske 44
„ 30. Edison-Maschine 48
„ 31. Thury-Maschine von Cuènod Sautter & Cie., Genf . . 50
„ 32. Lahmeyer-Maschine der deutschen Elektrizitätswerke in Aachen 51
„ 33. Diagramm der Reihen- oder Hintereinanderschaltung . 78
„ 34. „ des Systems Bernstein-Houston 81
„ 35. „ der Parallelschaltung 81
„ 36. „ „ „ mit Rückleitung . . . 83
„ 37. „ „ „ 84
„ 38. „ „ „ Reihenschaltung von Gruppen 84
„ 39. } „ des Systems R. Alioth & Cie. in Basel . . 87
„ 40. }
„ 41. „ „ „ Dreileitersystems 89
„ 42. „ „ „ Sechsleitersystems 91
„ 43. „ eines Akkumulatorensystems 92
„ 44. „ „ „ Widerstandsregulators 94
„ 45. „ „ „ Akkumulatorensystems für Zentralen von J. L. Huber 94
„ 46. Diagramm eines Leitungsnetzes mit Ausgleichsleitungen 105
„ 47. Elihu Thomson's Regulierungssystem 111
„ 48. Anordnung einer Parallelschaltung von Dynamomaschinen nach Siemens & Halske 114
„ 49. Der automatische Spannungsregulator von Fischinger, Dresden 117

		Seite
Fig. 50.	Fernspannungs-Regulatoren von Lahmeyer (schematisch)	119
„ 51.		120
„ 52.		121
„ 53.		122
„ 54.	Schema eines Hauptstromregulators von Schuckert, Nürnberg	125
„ 55.	Regulierungssystem von Alioth & Cie., Basel (schematisch)	129
„ 56.		129
„ 57.		129
„ 58.		129
„ 59.	Querschnitt eines Sektionskabels	149
„ 60.	Endverschlüsse zu Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht	153
„ 61.		
„ 62.	Endverschluss zu Patent-Bleikabeln mit Prüfdraht	154
„ 63.	„ „ „ „ „ „	155
„ 64.	„ „ „ Blei-Doppelkabeln ohne Prüfdraht	155
„ 65.	„ „ „ „ „ mit „	156
„ 66.	Konstruktion des Endverschlusses für ein Dreileiterkabel	157
„ 67.	Gerade Muffe für Patent-Bleikabel mit Prüfdraht	158
„ 68.	„ „ „ „ Bleidoppelkabel mit Prüfdrähten	158
„ 69.	T-Muffe für Patent-Bleikabel ohne Prüfdraht	159
„ 70.	T-Muffe als Abzweigungsmuffe verwendbar	159
„ 71.	„ „ „ Einschaltemuffe „	160
„ 72.	Querschnitt der Mauerung und Einsteigeöffnung zu einem Verteilungskasten	162
„ 73.	Strommesser von Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.	169
„ 74.	„ „ Schuckert, Nürnberg	170
„ 75.	„ „ Alioth & Cie., Basel	170
„ 76.	Lampenzähler	172
„ 77.	Spannungsmesser von Hartmann & Braun	174
„ 78.	„ „ Schuckert, Nürnberg	174
„ 79.	„ „ Alioth & Cie., Basel	175

Seite

Fig. 80. Strom- und Spannungsmesser der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin 176

„ 81. Spannungsmesser mit optischer und akustischer Signalgebung von Siemens & Halske 178

„ 82. Spannungsmesser und Kontrollapparat von Brückner, Ross & Cons., Wien (Ansicht) 180

„ 83. Spannungsmesser und Kontrollapparat von Brückner, Ross & Cons., Wien (Schnitt) 180

„ 84. Selbstregistrierender Spannungsmesser von Schuckert, Nürnberg 184

„ 85. } Erdschlussanzeiger . . . . . { 189
„ 86. } { 192

„ 87. Elektrizitätszähler von Dr. Aron 197

„ 88. Voltcoulombzähler von Dr. Aron 200

„ 89. Regulier- und Schaltapparat der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin 210

„ 90. Diagramm des täglichen Stromkonsums einer Zentrale . 223

„ 91. } Kurven der Leitungsverluste . . . . . { 231
„ 92. } { 232

„ 93. } Kurven für die Leitungsverluste in den Monaten { 233
„ 94. } Juni und Dezember . . . . . { 234

„ 95. Diagramm der Gesamtunkosten für die verschiedenen Voltampère 243

„ 96. }
„ 97. }
„ 98. }
„ 99. } Graphische Darstellungen der Lichtschwankungen, des
„ 100. } Kostenaufwandes etc. während des Betriebes in
„ 101. } den einzelnen Monaten 243
„ 102. }
„ 103. }
„ 104. }

Seite

Fig. 105. } Graphische Darstellungen der Lichtschwankungen, des
„ 106. } Kostenaufwandes etc. während des Betriebes in
„ 107. } den einzelnen Monaten 243

„ 108. } Ansicht der von der Westinghouse Electric Company
„ 109. } gebauten Zentrale zu Trenton N. Y. 265

„ 110. Leitungsschema dieser Zentralstation 266

„ 111. Schema der Apparatenwand in der Zentrale Lübeck . 278

„ 112. Schema der Maschinenanlage für die Zentrale Amsterdam 285

„ 113. Schaltungsweise der Akkumulatoren-Zentrale Neue Friedrichstrasse, Berlin 288

„ 114 bis 141 enthalten Diagramme und Konstruktionszeichnungen zu Kapitel IX: „einige Methoden zur Berechnung des Leitungsnetzes.“ —

I.

Die Gleichstrommaschinen.

Für die Erzeugung der elektrischen Energie in Zentralen kommen, entsprechend dem gegenwärtigen Standpunkte der Elektrotechnik, nur Dynamomaschinen (Wechselstrom- oder Gleichstrommaschinen) in Frage. Mit der letzteren Gruppe haben wir uns in diesem Abschnitt zu beschäftigen. Es kann natürlich nicht unsere Aufgabe sein, sämtliche Konstruktionen derselben hier aufzählen zu wollen, wir werden uns vielmehr darauf beschränken, diejenigen einer näheren Betrachtung zu unterziehen, welche sich besonderer Vorzüge wegen hauptsächlich zur Verwendung in elektrischen Zentralen eignen dürften.

Die erste für die Praxis brauchbare Gleischstrommaschine wurde von dem Franzosen **Gramme** konstruiert. Sie bildet den Typus der sogenannten **Trommelringmaschinen** (Dynamomaschinen mit Trommelringanker).

Die ursprüngliche Form der Gramme'schen Maschine hat im Laufe der Zeit vielfache Verbesserungen erfahren. Im Besondern ist man bemüht gewesen, das magnetische Feld dieser Maschine günstiger zu gestalten und die ganze Konstruktion maschinell vollkommener herzustellen, so dass die jetzigen Original-Gramme-Maschinen wohl mit zu den vorzüglichsten gerechnet werden können. Ein Vergleich der neueren mit den von der

Firma **Sautter, Lemonnier & Co.** in **Paris**, die sich mit dem Bau von Original-Gramme-Maschinen beschäftigt, früher hergestellten Maschinen lässt deutlich die Umgestaltungen erkennen, welche dieselben erfahren haben.

Bei den Originalmaschinen sind die Magnete, 28 an der Zahl, in vier Gruppen zu sieben Stück derart kombiniert, dass je zwei Gruppen von sieben Stück einen Elektromagneten in Hufeisenform bilden; diese beiden Hufeisenmagnete sind mit ihren gleichnamigen Polen durch gusseiserne Polstücke verbunden, innerhalb welcher die Armatur rotiert. Die Wicklung der Armatur ist äusserst originell und sehr einfach. Der Aufbau derselben ist Gegenstand eines französischen Patentes vom 7. März 1883.

Die Maschine liefert bei 1000 Touren eine Stromstärke von 300 Ampère, eine Klemmenspannung von 105 Volt und erfordert zum Betriebe ca. 51 Pferdekräfte. Der Nutzeffekt beträgt etwas über 80 %.

So tadellos auch die mechanische Ausführung dieser Maschine ist, so giebt doch die Gestaltung des magnetischen Feldes zu einigen Bedenken Anlass. Es ist entschieden vorteilhafter, die Anzahl der Magnete, welche in einem Polschuh vereinigt sind, möglichst zu beschränken. Man verwendet daher neuerdings auch stets nur einen einzigen Magnet von desto grösserem Querschnitt.

Fig. 1 stellt eine in dieser Hinsicht vervollkommnete Gramme-Maschine dar. Der Alleinvertrieb derselben für Deutschland ist der Firma **Schumann & Köppe** in **Leipzig** übertragen worden.

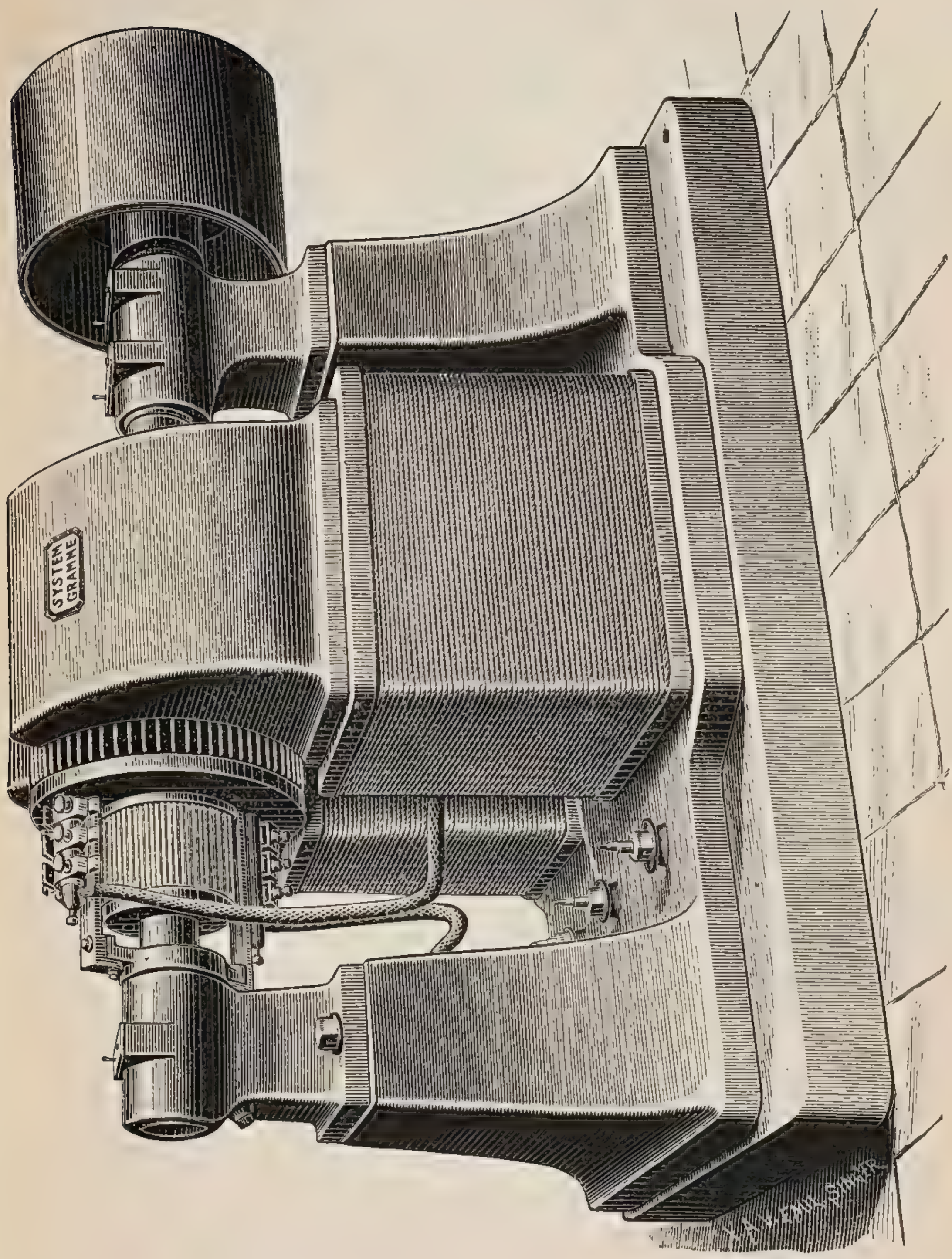


Fig. 1.

Die sehr kurzen Kerne der Feldmagnete sind ausserordentlich kräftig gehalten und bilden mit den Polschuhen und der Grundplatte ein einziges Gussstück. Ausserdem sind an die Grundplatte noch die kräftigen Lagerböcke angegossen, welche die Lager für die Armatur tragen. Die Lagerschalen sind sehr lang und mit vorzüglichen Schmiereinrichtungen versehen, Faktoren, welche wesentlich zu dem ruhigen und betriebssicheren Gange der Maschine beitragen. Das magnetische Feld ist sehr kräftig, wodurch die Zahl der Drahtwindungen auf der Armatur auf ein Minimum reduziert werden kann.

Die grössten Modelle dieser Maschinen beanspruchen eine Betriebskraft von 67 resp. 127 Pferdekräften und liefern 400 resp. 750 Ampère, bei 110 Volt. Sie sind also im Stande nahe an 1000 resp. 1600 Glühlampen à 16 NK. allein zu speisen.

Als aus einem Gramme'schen Ringe entstanden, der in einzelne Partialringe zerlegt wurde, kann man sich die Armatur der **Bürgin-Maschine** denken. Der Ringkern ist aus Eisendraht gebildet und hat gewöhnlich die Gestalt eines Sechseckes, welches an den Ecken auf eine mit Speichen versehene Nabe aus Bronze aufgesetzt ist. Die Drahtwickelung nimmt nach der Mitte hin zu. Die Ringe haben einen sechseckigen Querschnitt. Die einzelnen Ringe des Ankers sind gegeneinander spiralförmig versetzt. Hierdurch wird erreicht, dass das Ganze wie ein 48teiliger Ring wirkt. Die Drahtverbindung ist in der Gramme'schen Art durchgeführt.

Nicht unwesentliche Abänderungen und Vervollkommnungen der Bürgin-Maschinen bieten die Maschinen von **E. R. Crompton** in **England** und diejenigen von **R. Alioth & Cie.** in **Basel.**

Die Firma **R. Alioth & Cie.** in **Basel** hat in den letzten Jahren eine Reihe von Änderungen an den ursprünglichen Bürgin-Maschinen vorgenommen und hierdurch bedeutende Erfolge erzielt. Doch sind dieselben meistenteils nur in kleineren Modellen hergestellt worden. Grössere Maschinen baut diese Firma nach einem eigenen System mit von Hefner-Alteneck'scher Trommel.

Das magnetische Feld derselben (Fig. 2) wird durch einen ringförmigen, aus vier Teilen zusammengesetzten Hauptkörper und durch die gleichfalls bewickelten Polstücke erzeugt. Die äusseren Magnete liegen im Nebenschluss zur Armatur, während die direkte Wickelung die Polstücke umfasst. Die Armatur besteht aus übereinander greifenden, im Bedürfnisfalle einzeln auswechselbaren Drahtrahmen.

Die Maschine zeigt eine gefällige Form und eine äusserst sorgfältige und genaue Konstruktion.

Die Leistungsfähigkeit dieser Maschinen ist eine sehr günstige. So liefert ein Modell bei 800 Touren einen äussern elektrischen Effekt von 15,000 Voltampère. In grösseren Modellen werden die Resultate noch wesentlich günstiger.

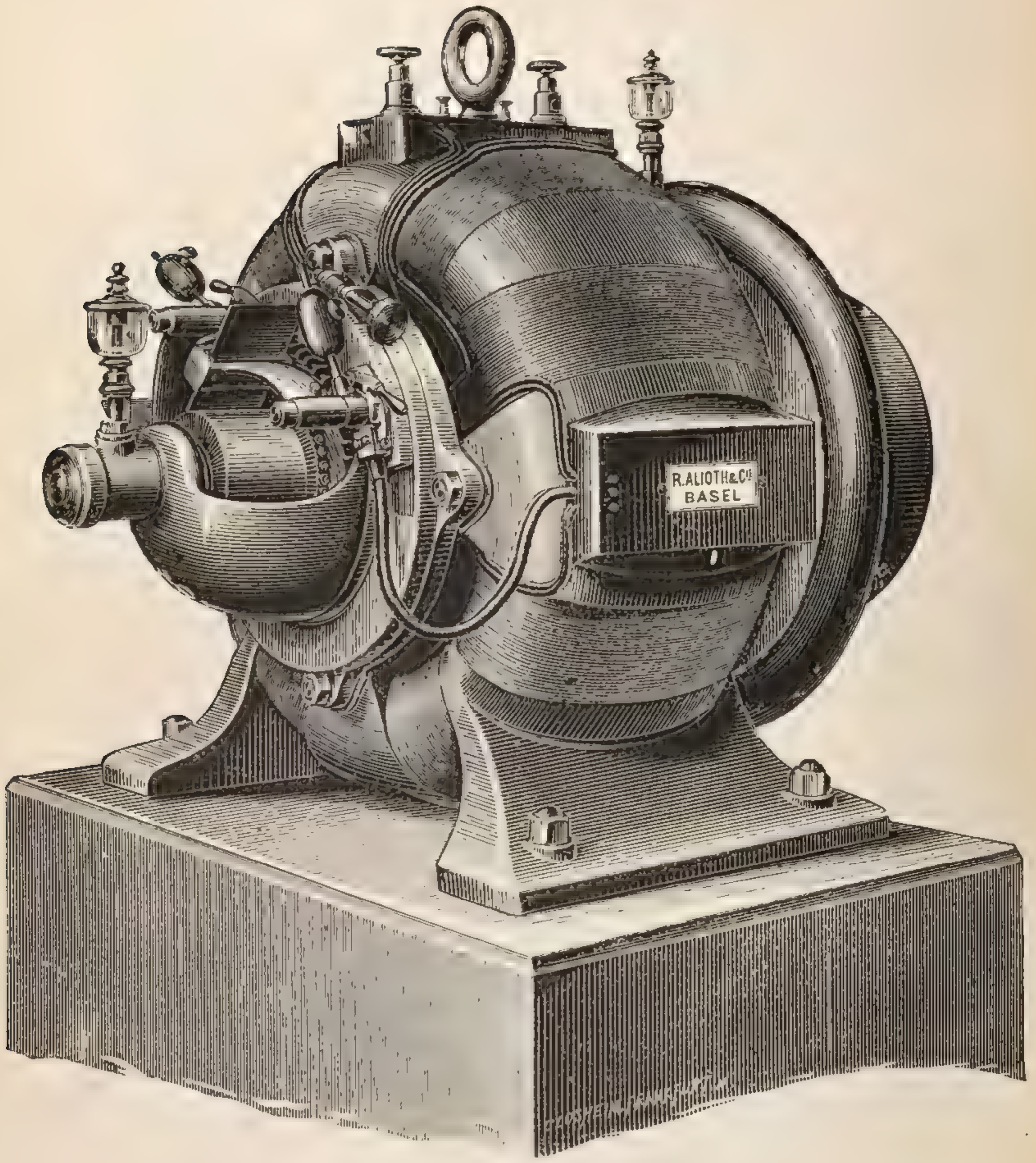


Fig. 2.

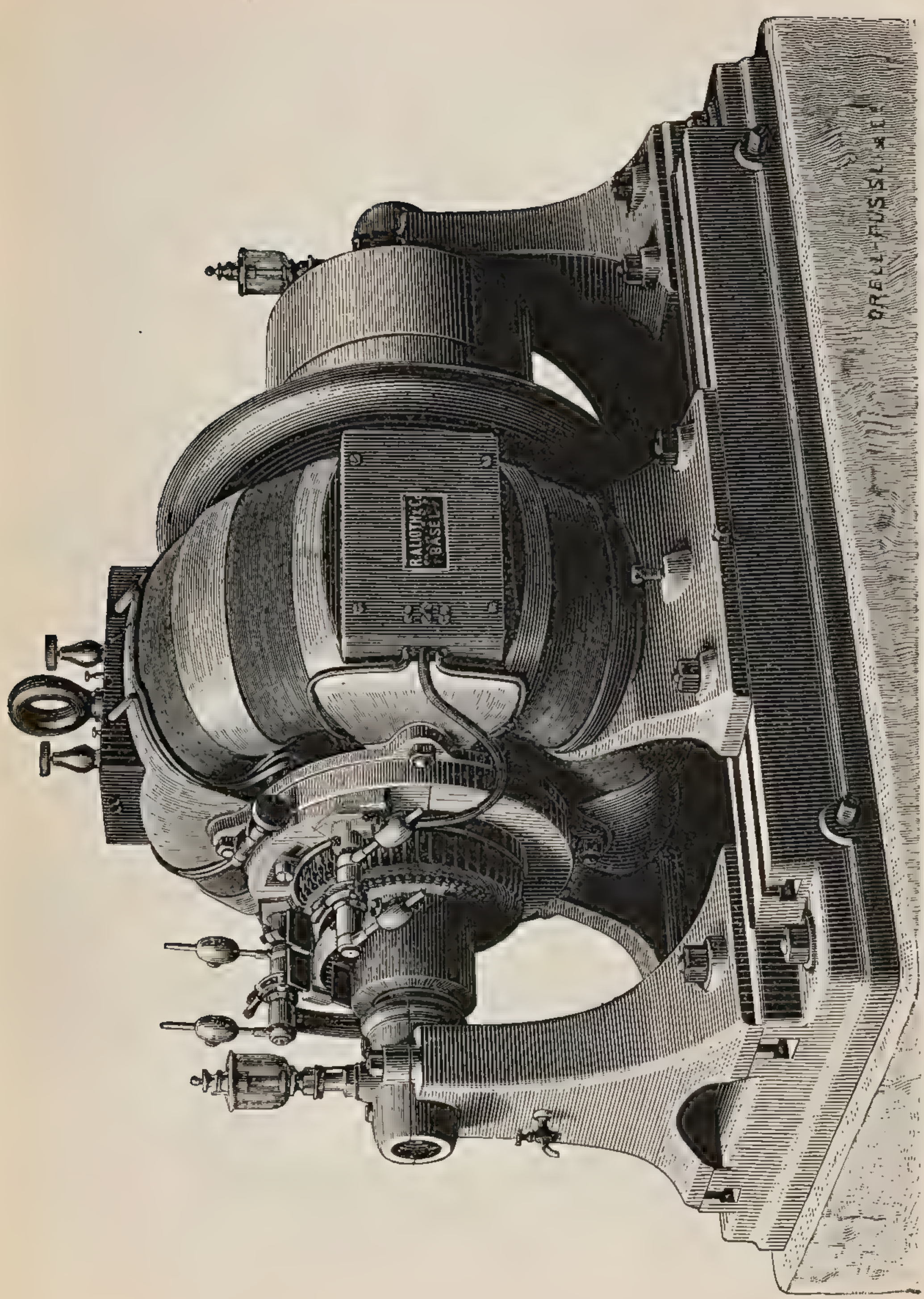


Fig. 3.

Fig. 2 giebt die Ansicht eines Modells für ca. 20,000 Voltampère und Fig. 3 die eines solchen für ca. 40,000 Voltampère.

Die Firma **E. R. Crompton** nimmt unter den englischen Fabrikanten von Dynamomaschinen wohl den ersten Platz ein.

Die Form und Anordnung der von Crompton verbesserten Bürgin-Maschinen ist aus Fig. 4 ersichtlich. Der Eisenkern der Armatur besteht aus von einander isolierten Blechscheiben, welche von mit Schwalbenschwänzen versehenen Speichen gefasst werden. Bei besonders grossen Maschinen ist die Bewicklung aus rechteckigen Kupferstäben zusammengesetzt, welche so gestaltet sind, dass ihr Querschnitt annähernd konstant ist. Die Magnetkerne sind gewaltige Eisenstücke aus Schmiedeeisen, welche in der Mitte zur Aufnahme der Armatur eine cylindrische Bohrung erhalten und durch die an den Enden zwischengeschraubten Rückplatten, ebenfalls aus Schmiedeeisen, einen ausserordentlich gün-

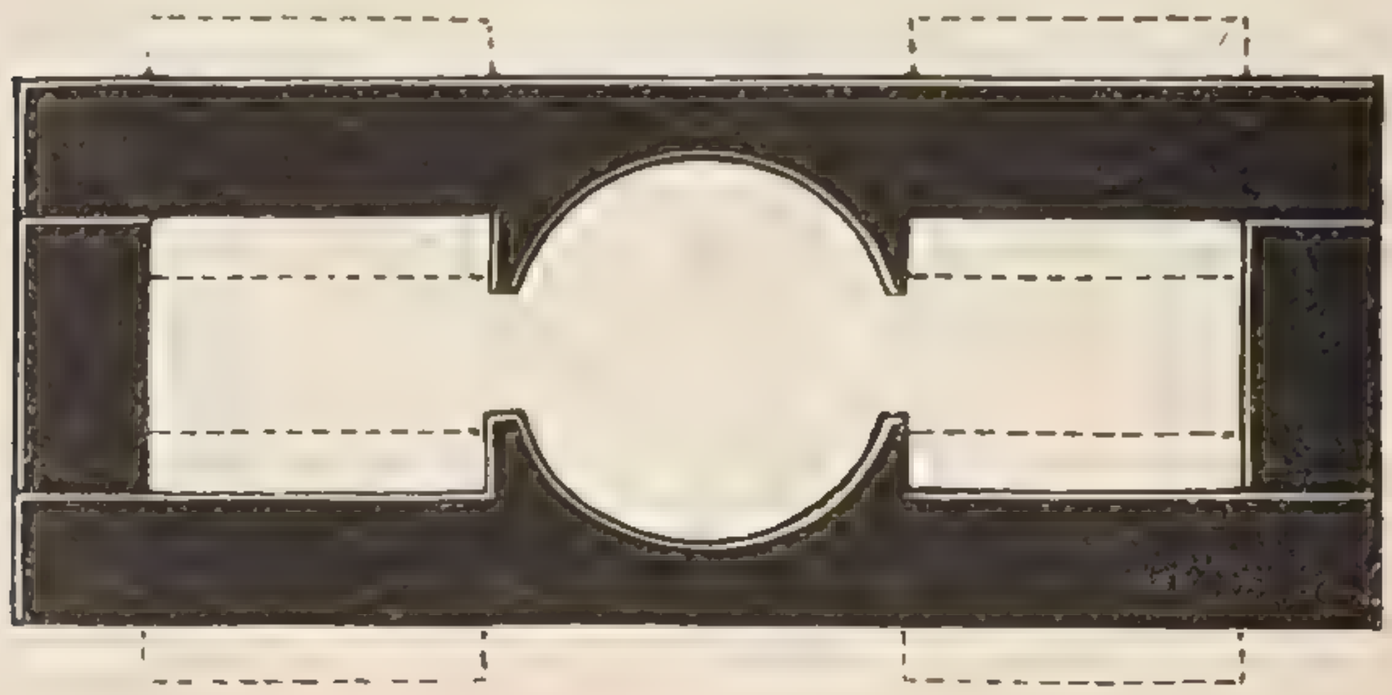


Fig. 5.

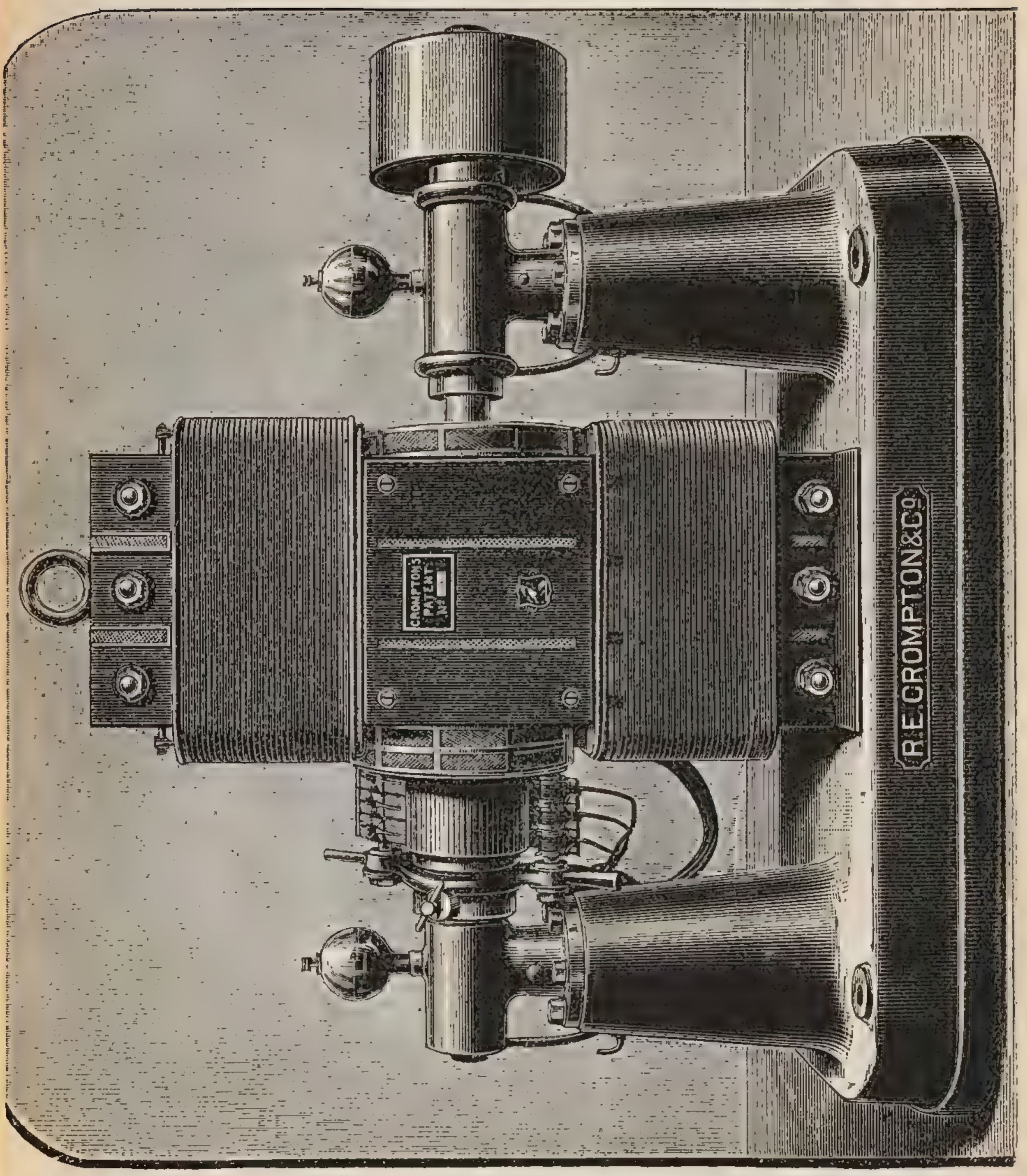


Fig. 4.

stigen magnetischen Kraftlinienkreislauf zulassen (Fig. 5). Eine solche Maschine liefert bei 440 Touren pro Minute eine Stromstärke von 230 Ampère bei einer Klemmenspannung von 110 Volt.

Dieselbe magnetische Disposition wie die der Gramme-Maschine besitzt das neueste Modell von **Gisbert Kapp**, nur sind hier die Magnetkerne nicht von Gusseisen, sondern von Schmiedeeisen und von cylindrischer Gestalt. Dieselben sind mittelst seitlicher Druckschrauben in der gusseisernen Grundplatte befestigt und tragen am anderen Ende, welches etwas konisch angedreht ist, die gusseisernen Polschuhe. Die oberen Tragringe dienen gleichzeitig dazu, diese Polschuhköpfe fest auf das konische Ende des Kernes zu pressen.

Diese Maschinen zeichnen sich ferner durch eine sehr solide Einrichtung des sechssternigen Induktors aus, wodurch eine grosse Festigkeit des Drahtes auf dem Kerne und eine bedeutende Dauerhaftigkeit erzielt wird. Durch die an den Sternecken angebrachten sechs Öffnungen ist für Ventilation in vorzüglicher Weise gesorgt.

Für langsam laufende Maschinen bringt **Kapp** die entsprechende Verstärkung des magnetischen Feldes durch eine dritte Bewicklung des Magnetsystems hervor, indem er dasselbe mit der verbindenden Rückplatte oder dem Joch nach oben stellt, also umkehrt, und diese Rückplatte dann ebenfalls noch mit einer Wicklung versieht. Dies Modell hat neuerdings in der englischen

Marine vielfache Verwendung gefunden. Dasselbe wird von der Firma **W. H. Allen & Cie.** in **London** gebaut.

Auch die Maschinen von **C. & E. Fein** in **Stuttgart** weisen eine günstige Gestaltung des magnetischen Feldes auf. Fig. 6 zeigt die Anordnung desselben. Sie lassen sich mit den Original-Gramme-Maschinen vergleichen, nur besitzen erstere eine etwas verlängerte Rückplatte, welche die mit derselben aus einem Stück gegossenen Kerne in geneigter Lage, etwa im Winkel von 140°, zu einander trägt. Die Polköpfe sind weggefallen, so dass die Magnetspulen direkt auf die Kerne geschoben werden können.

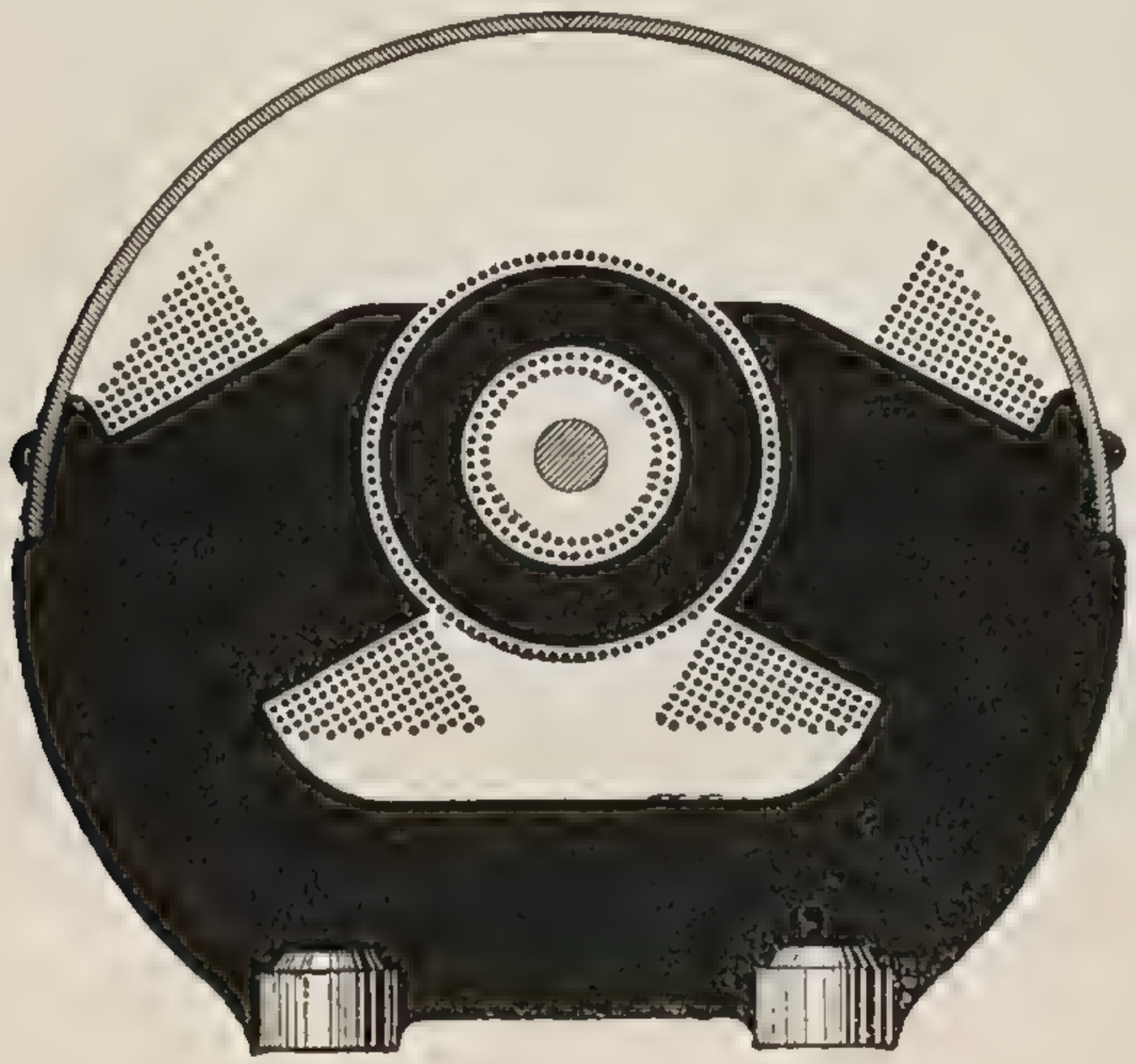


Fig. 6.

Von der äusseren Form dieser zweipoligen Dynamomaschine giebt Fig. 7 eine Ansicht, wobei nur noch zu erwähnen ist, dass die beiden mit der Grundplatte aus einem Stück Gusseisen hergestellten Elektromagnet-

schenkel auf ihrer oberen Seite durch einen halbcylinderförmigen Metallmantel mit einander verbunden sind, wodurch das Maschinengestell zur Trommelform ergänzt wird, wie dies schon aus der Fig. 6 hervorgeht. Auf diese Weise ist der Anker und die Wicklung der Elektro-

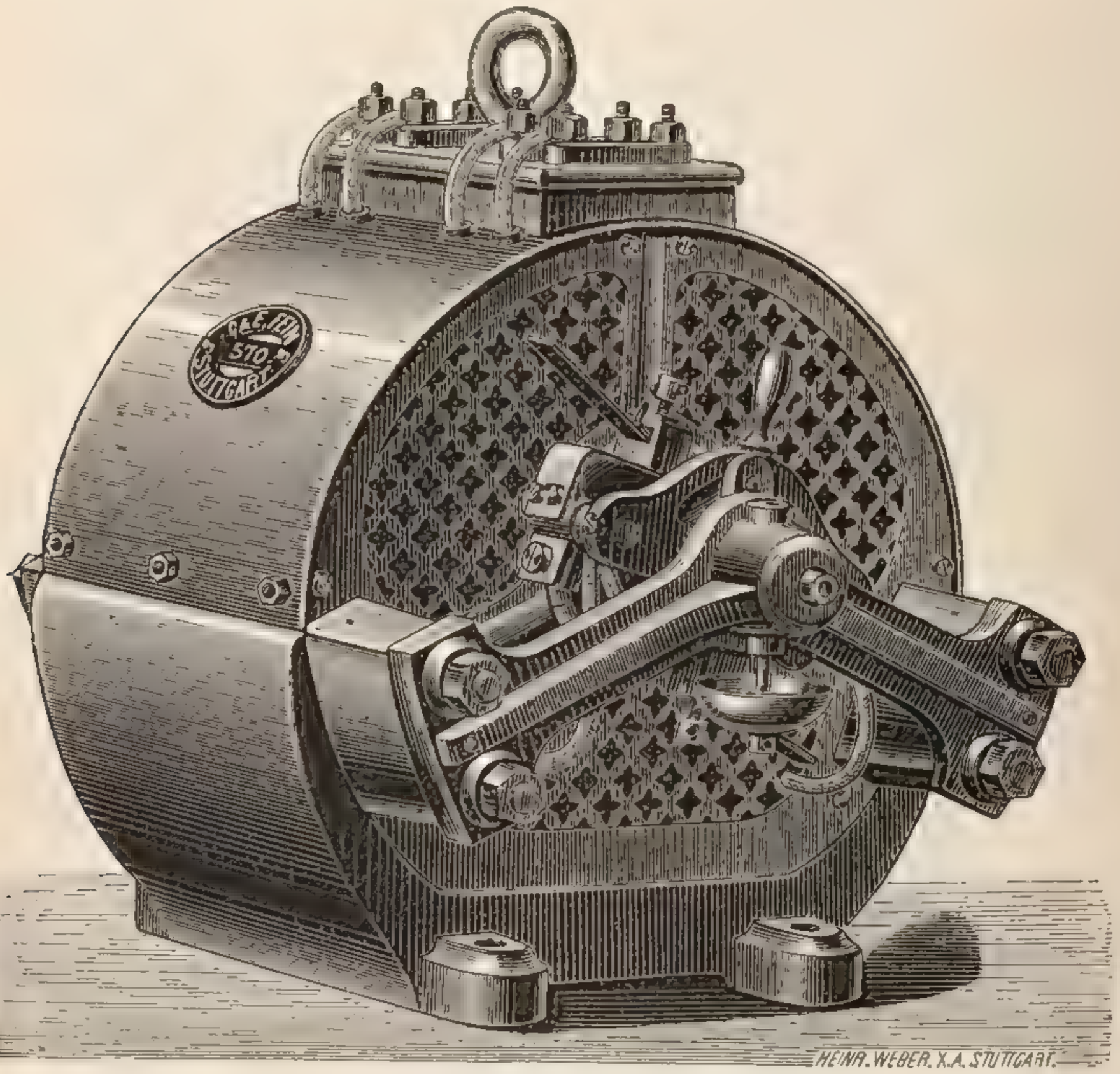


Fig. 7.

magnete gegen äussere Beschädigungen vollständig geschützt, besonders da auch die beiden seitlichen Öffnungen der Trommel durch gitterförmig gelochte Blechscheiben abgeschlossen sind. Die Befestigung der ebenfalls aus Gusseisen hergestellten Lagerbrücken ist so

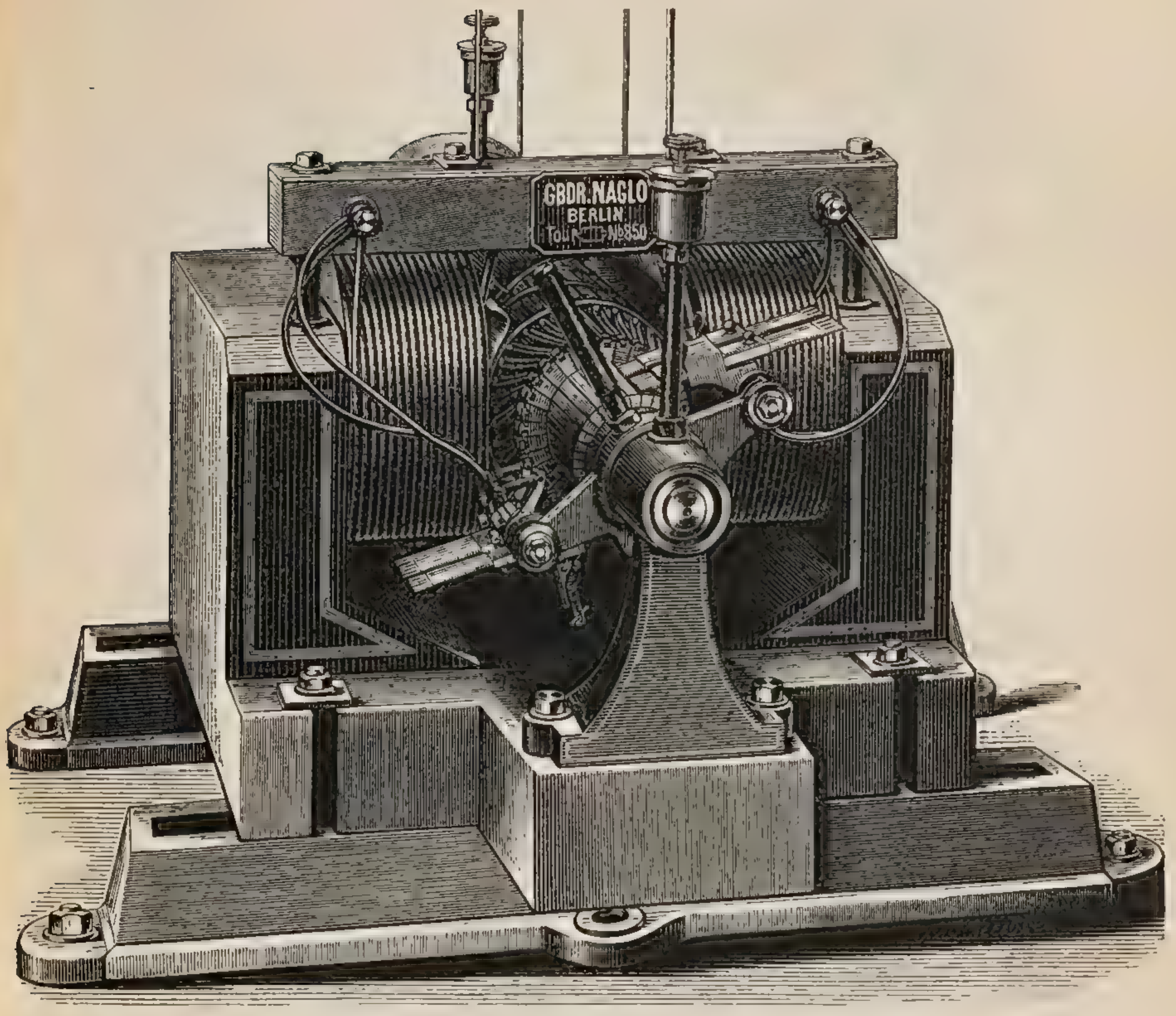


Fig. 8.

angeordnet, dass sie zwei weitere Verbindungsstücke zwischen den Enden der Elektromagnetschenkel, welche dem Ringanker abgekehrt sind, bilden, so dass der magnetische Gesamtwiderstand auch hierdurch etwas vermindert werden dürfte.

Die neueste Konstruktion von **Gebr. Naglo** in **Berlin** verfolgt denselben Zweck, die Leistung der Maschinen

durch Veränderung der Gestalt des magnetischen Feldes zu erhöhen. Die Maschine, deren Ansicht wir in Fig. 8 wiedergeben, ist äusserst stabil und besitzt grosse Eisenmassen; die Kerne, welche mit dem Gestell ein Stück bilden, stehen hier jedoch diametral gegenüber, was einen nicht unbedeutend längeren Weg der Kraftlinien bei ihrem magnetischen Kreislauf bedingt. Indessen ist diese Verlängerung des Kraftlinienweges durch eine Vergrösserung des Leitungsquerschnitts für dieselben ausgeglichen. Der lichte Raum zwischen den beiden Kernen ist so weit, dass, nachdem die Armatur herausgenommen ist, die Spulen einzeln von ihren Kernen geschoben werden können, wodurch die Herstellung des ganzen Maschinengestelles sehr vereinfacht wird. —

Eine **doppelte** Anordnung von hufeisenförmigen Magneten zur günstigen Gestaltung des magnetischen Feldes benutzt **Elwell Parker** bei seiner vierpoligen Maschine, indem er zwei Hufeisenmagnete mit ihren entgegengesetzten Polen gegeneinander stellt und dazwischen die Armatur rotieren lässt. Es entstehen dadurch vier Pole, welche in abwechselnder Folge von Nord und Süd sich aneinander reihen und ein sehr kräftiges magnetisches Feld erzeugen.

Während die Schenkel dieser Maschinen nahezu parallel zu einander laufen, stellen **C. & E. Fein** bei ihrer vier- resp. mehrpoligen Maschine die Schenkel radial; dieselbe wäre also als eine Verdoppelung der zweipoligen Anordnung aufzufassen, wie wir sie soeben

beschrieben haben, nur ist hier der magnetische Kreislauf der Kraftlinien vervollständigt, indem die Joche der Hufeisenmagnete unter sich verbunden sind, so dass das Joch aus einem einzigen Ringe besteht. Eine schematische Anordnung dieses Magnetsystems ist aus Fig. 9 ersichtlich. Fig. 10 zeigt die äussere Erscheinung einer solchen Maschine mit vier Polen. Die Leistungsfähigkeit dieser Maschinen ist bedeutend, so liefert beispielsweise schon das kleinste Maschinenmodell M. D. I., dessen Gesamtgewicht 605 Kilogramm beträgt, bei 1000 Touren per Minute einen äusseren elektrischen Effekt von

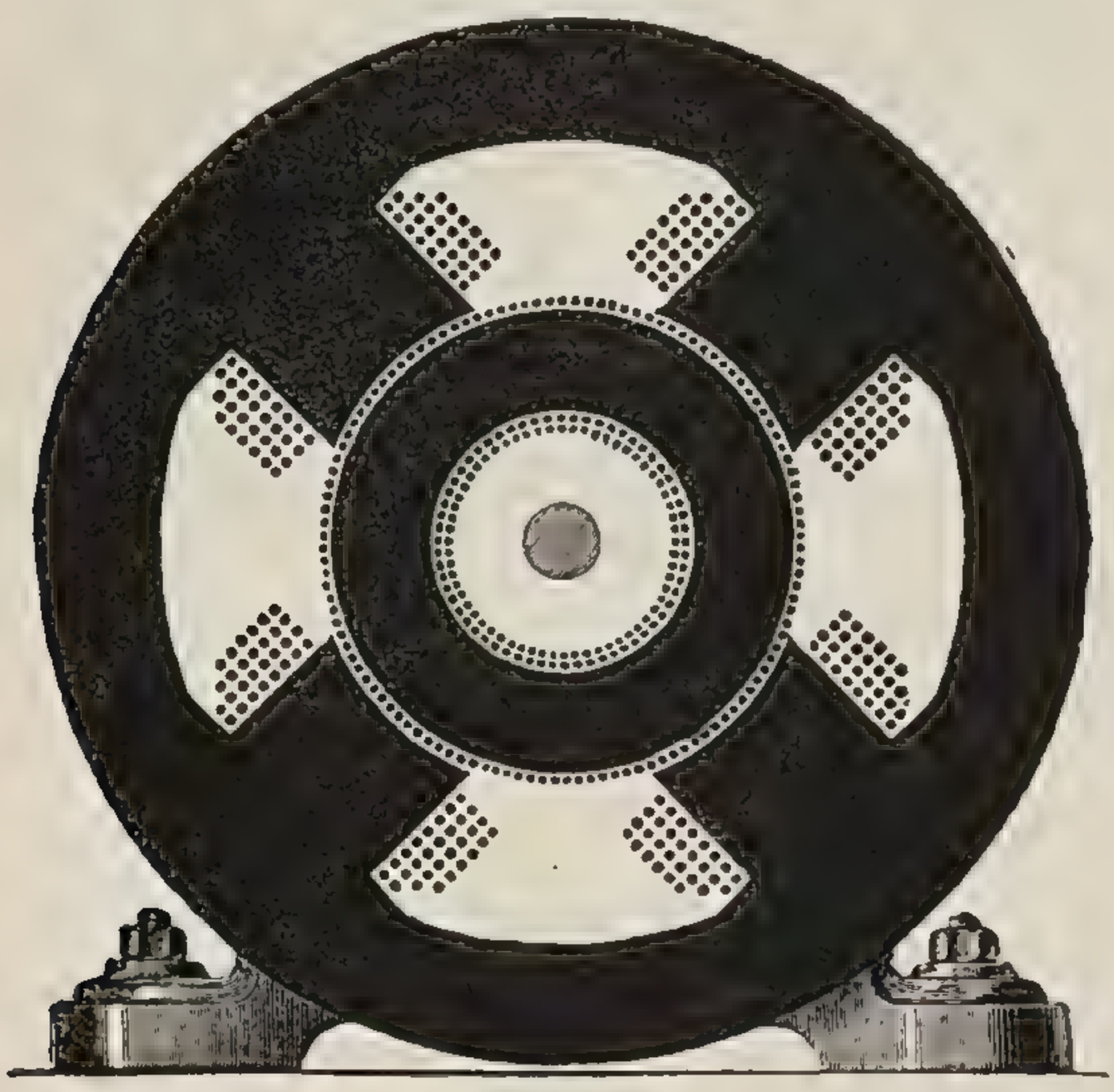


Fig. 9.

7700 Voltampère, und zwar eine Stromstärke von 70 Ampère, bei einer Klemmenspannung von 110 Volt.

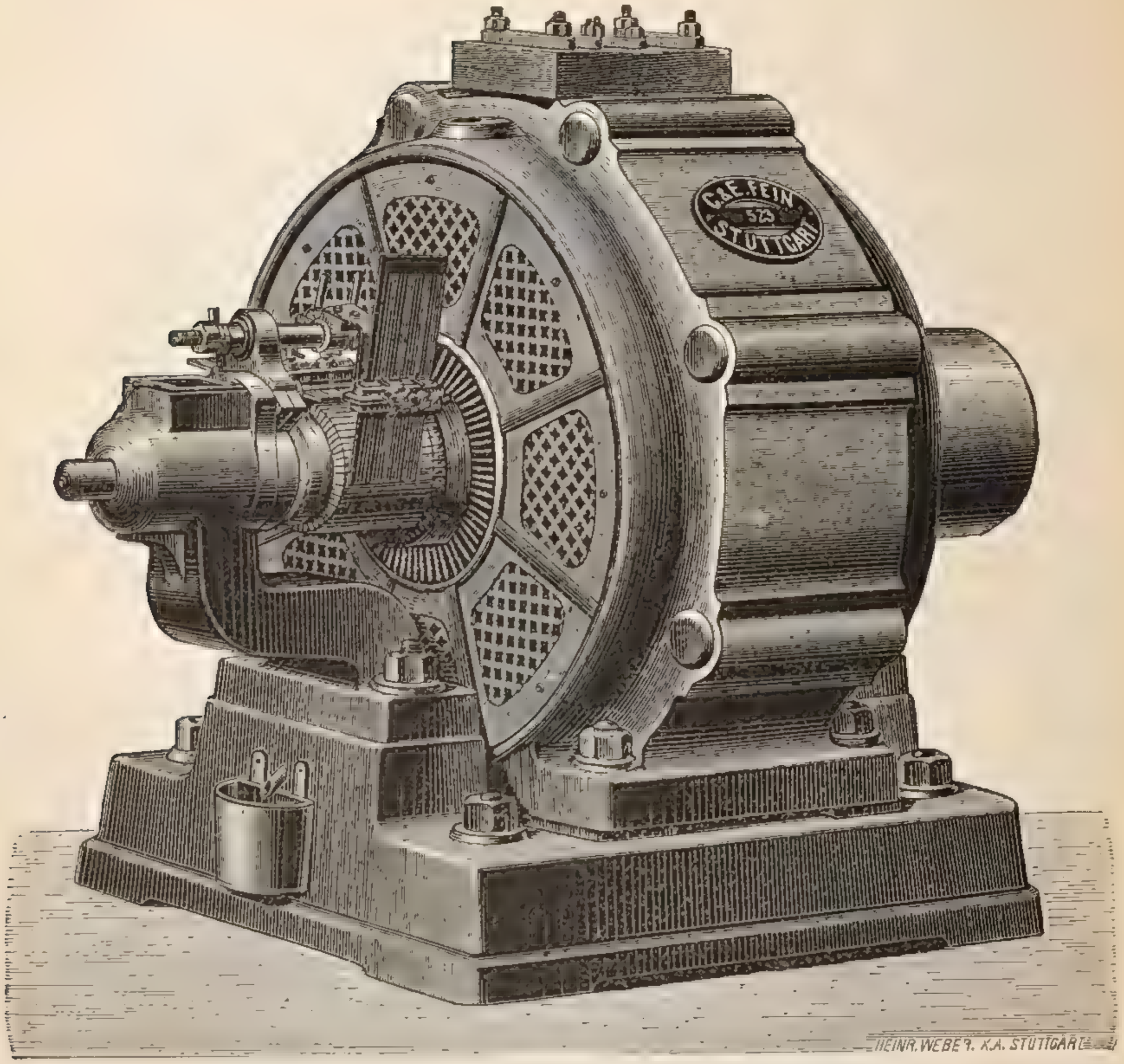


Fig. 10.

Der warm gemessene Widerstand des Ringes beträgt 0,04 Ohm, während die direkte Wicklung der Elektromagnete einen solchen von 0,027 Ohm ausmacht, woraus sich das elektrische Güteverhältnis der Maschine auf 90 % berechnet.

Im Nachfolgenden sind die elektrischen und mechanischen Dimensionen, sowie die Leistungen der grösseren Maschinen dieser Art, unter Beifügung des

schon beschriebenen Modells M. D. I. tabellarisch zusammengestellt.

Modell-No.	Leistung in Volt-ampère	Ampère bei 110 Volt	Ampère bei 65 Volt	Netto-Gew. in Kilo.	Touren-Zahl pr. Minute circa	Kraft-Verbr. in HP	Anzahl der Elektro-magnet-pole
M. D. I.	7,000	65	108	605	950	$11._5$	4
„ „ II.	10,000	90	154	900	850	$15._5$	4
„ „ III.	15,000	136	230	1210	800	24	4
„ „ IV.	24,000	218	370	1950	650	38	4
„ „ V.	36,000	327	554	2750	500	55	6
„ „ VI.	54,000	490	830	4200	350	85	8

Eine ähnliche Anordnung, nur mit einer sogenannten Müllerschen Trommel versehen, die sich durch eine ganz neue eigenartige Wicklung auszeichnet, besitzt die Maschine von **J. Einstein & Cie.** in **München** (Fig. 11).

Erwähnung verdient auch eine mit dem Namen **„Phönix Dynamo“** bezeichnete Maschine der Firma **Patterson & Cooper;** dieselbe hat so ziemlich die gleiche Anordnung des Magnetsystems aufzuweisen, wie die oben beschriebene Crompton-Maschine, nur springen die Polschuhe nicht nach innen vor. Auch sind dieselben behufs besserer Abkühlung der Armatur und zur Vermeidung lokaler Ströme geschlitzt.

Dagegen besitzt die Armatur einige wesentlichere Abweichungen; dieselbe ist nämlich aus dünnen gezahnten Eisenblechscheiben zusammengesetzt, welche von einander durch Papier isoliert sind, so dass der fertige Armaturkern mit einer Anzahl parallel der Axe verlaufenden

Nuten versehen ist, welche den Zweck haben, die Drähte aufzunehmen, während die Vorsprünge wesentlich dazu beitragen sollen, die Intensität des magnetischen Feldes zu erhöhen.

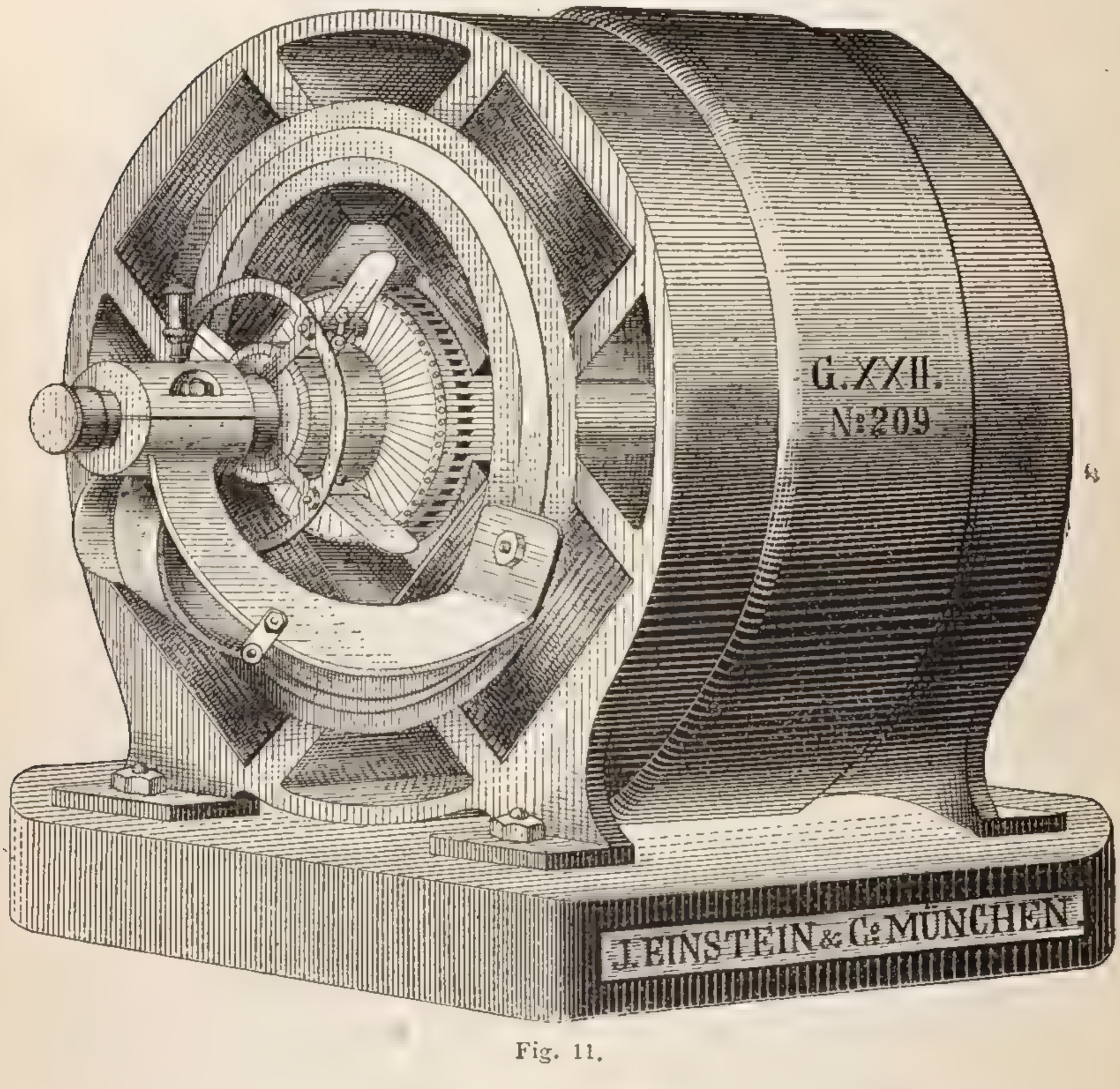


Fig. 11.

Diese Maschinen werden bis zu 40,000 Voltampère Leistung bei einer Tourenzahl von 500 pro Minute gebaut.

Während die bisher besprochenen Maschinentypen derartig konstruiert sind, dass je zwei Magnetkerne mit ihren Polschuhen ein Stück bilden und durch Rückplatten vereinigt sind, hat **Mather & Platt** unter dem Namen „**Manchester Dynamo**“ ein neues Modell geschaffen, welches eine wesentlich andere Gestalt zeigt.

Hier sind die Rückplatten vollständig zu Magnetkernen ausgebildet, und die ursprünglichen Magnetkerne mit den Polschuhen bilden gewissermassen die Rückplatten. Der untere Magnetkern ist mit der Bodenplatte, welche die Lager für die Welle trägt, in einem Stück gegossen, während der obere Magnetkern von den Rückplatten, welche jetzt die Feldmagnete bilden, getragen wird. Die Disposition des magnetischen Feldes ist eine recht günstige zu nennen. Die Leistungen dieser Manchester-Maschinen geben daher auch gute Resultate. So liefert z. B. eine Type bei 1050 Touren pro Minute 220 Ampère bei einer Klemmenspannung von 110 Volt.

Fig. 12 stellt die nach diesem Typus gebaute Maschine der Firma **Kremenezky, Mayer & Cie.** in **Wien** dar.

Dieselbe wird in verschiedenen Grössen gebaut, welche Leistungen von 2000 bis 30,000 Voltampère entsprechen. Sie wird als Serien-, Nebenschluss- und Compound-Maschine konstruiert. Die Compoundwirkung der letzteren ist sehr vorzüglich, auch ohne dass die Bürsten verstellt werden müssen. Der kommerzielle Nutzeffekt beträgt im Mittel 0,75. Bei dieser Dynamomaschine sind

infolge ihrer einfachen Konstruktion alle Teile leicht zugänglich, besonders ist die Bürstenvorrichtung leicht zu handhaben. Der Induktor der Maschine ist ein

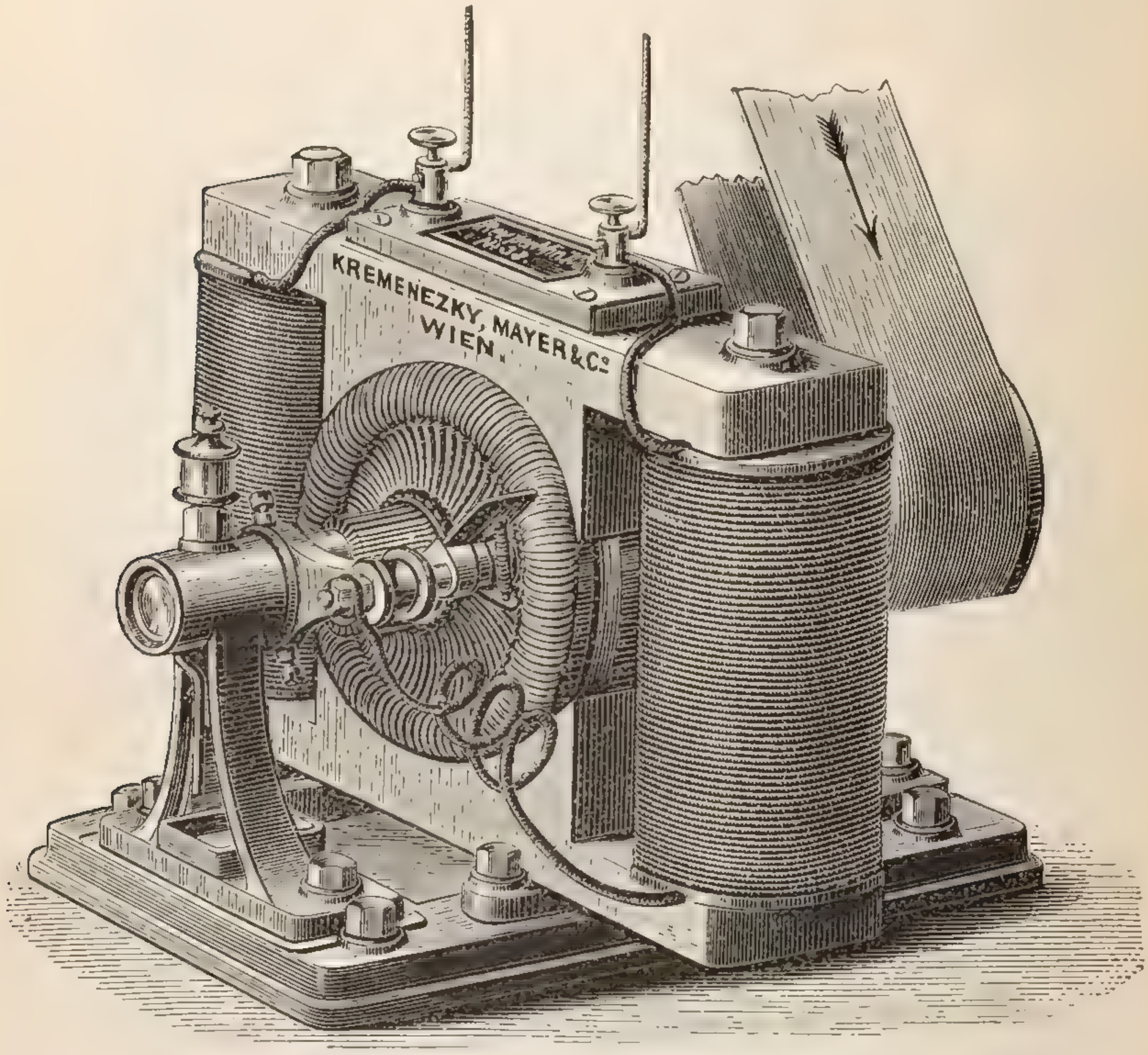


Fig. 12.

Gramme'scher Ring, dessen Eisenmasse aus Drähten besteht; mehrere Rillen im Eisenkern ermöglichen Ventilation des Ringes. Bei längerem Betriebe ist die Erwärmung des Ringes selbst bei voller Leistung der

Maschine eine ganz minimale, die Magnete erwärmen sich kaum merklich. Durchschnittlich giebt 1 kg Kupfer 70 Voltamp. Die Beanspruchung der Ringdrähte ist 3 Amp. per qmm und die der Magnetdrähte 2 Amp. per qmm.

Eine gleiche Anordnung wird neuerdings auch von der **elektrotechnischen Fabrik Cannstadt** gebaut, sie unterscheidet sich von der vorher besprochenen nur durch eine massigere Gestaltung des Polstückes.

Fig. 13 giebt ein Bild dieser Maschine.

Die Maschinenfabrik **Oerlikon** bei **Zürich** baut ebenfalls Maschinen derselben magnetischen Disposition. Die Gesamtanordnung zeugt von einer sehr kräftigen und solide durchgeführten maschinellen Konstruktion. Die Antriebsriemenscheibe befindet sich bei denselben nicht, wie dies gewöhnlich der Fall ist, ausserhalb der Lager als freie Scheibe, sondern ist zwischen den Lagern auf der Welle befestigt, eine Anordnung, welche zwar eine etwas grössere Entfernung der Lager bedingt, aber doch bei richtig dimensionierten Wellen und gut ausbalancierten Armaturen nur vorteilhaft zu nennen ist.

Das Neue und Originelle der Oerlikonmaschine besteht aber in der Ausführung der Wicklung auf dem Anker. In dieser Beziehung weicht die Oerlikon-Maschine wesentlich von anderen Maschinen ab. Die Wicklung befindet sich nämlich nicht auf dem Anker, sondern unter der Oberfläche des Ankers in Bohrungen. Da diese Bohrungen nun nahe an der Peripherie des

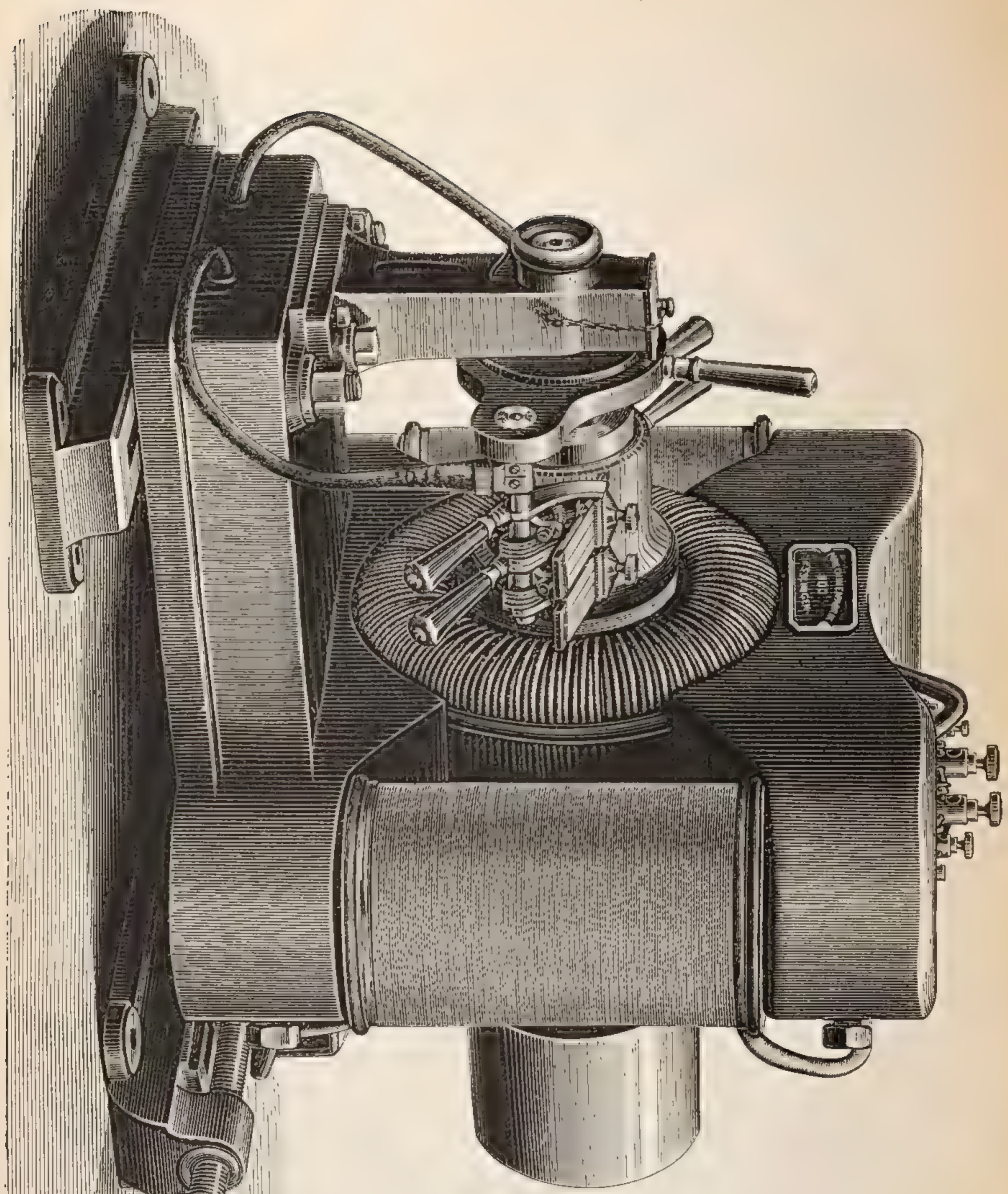


Fig. 13.

Ankers liegen, so müssen sämtliche Kraftlinien, welche durch den Anker gehen, auch die Drähte schneiden.

Die Abbildung in Fig. 14 stellt zwei solche Dynamos von je 600 Ampère und 70 Volt dar, welche von einer

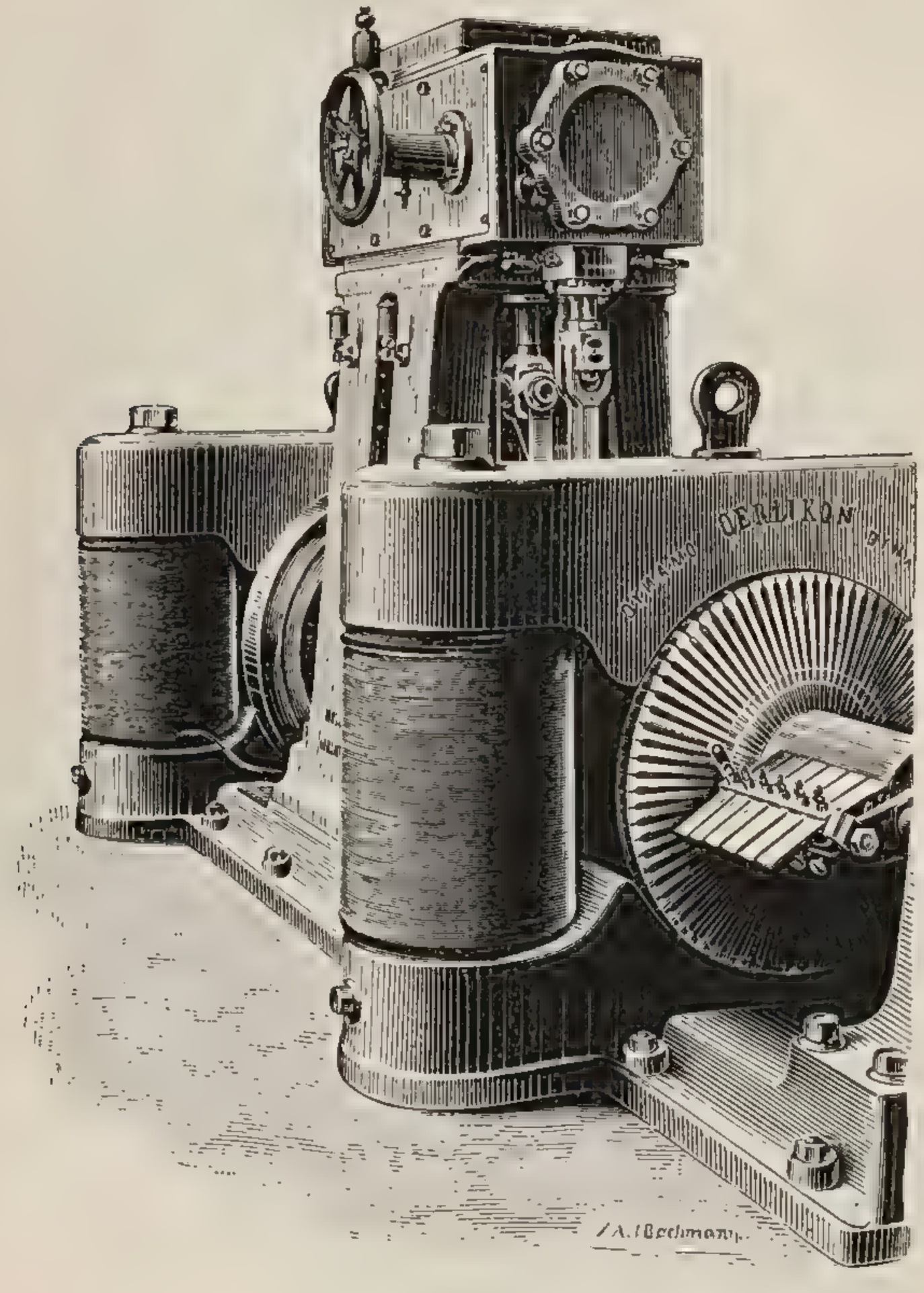


Fig. 14.

in der Mitte stehenden Dampfmaschine mit 300 Touren in der Minute direkt angetrieben werden.

Die neueste Konstruktion der Firma **Schuckert** in **Nürnberg,** welche hierbei von ihrem typischen Flach-

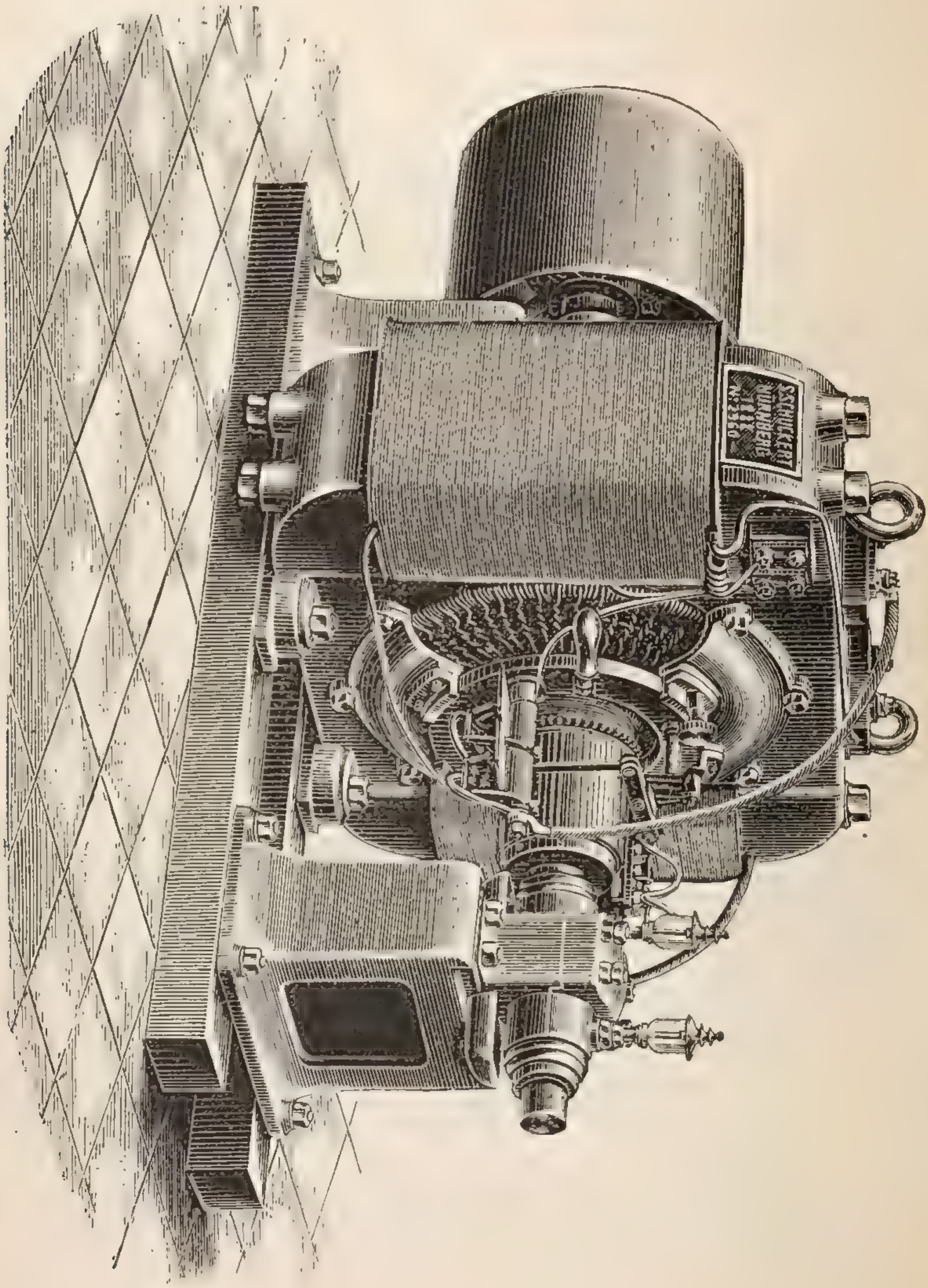


Fig. 15.

ringe, den wir später besprechen werden, abging, ist die in Fig. 15 dargestellte perspektivische Ansicht einer Maschine, welche den vorhergehenden sehr ähnlich ist und sich nur dadurch von denselben unterscheidet, dass die Magnetkerne von Schmiedeeisen sind, dabei aber einen rechteckigen Querschnitt besitzen. Dieselbe dürfte allen Ansprüchen, welche man an Maschinen für Zentralstationen stellen kann, genügen.

Den Schluss dieser Gruppe von bemerkenswerten Maschinentypen bilde eine Anordnung, welche die Firma **Schorch & Wilk** in **Darmstadt** ihren Maschinen gegeben hat.

Die zweipolige Maschine dieser Firma besitzt nur einen Magneten und zeichnet sich daher vor andern Maschinen dadurch vorteilhaft aus, dass der Weg der magnetischen Kraftlinien in der neutralen Linie der denkbar kürzeste ist. Das ganze Magnetgestell ist aus einem Stück gegossen. Die Anordnung einer vierpoligen Maschine derselben Firma ist aus Fig. 16 ersichtlich. —

Eine zweite Gruppe von Dynamomaschinen, welche sich wegen der prinzipiell ähnlichen Konstruktion der Armatur und deren Wicklung an die bisher besprochenen zunächst anschliessen, bilden die **Flachringmaschinen**.

Während bei den **Trommelringmaschinen** der um den Armaturkern gewickelte Draht nur eine **einseitige** Ausnutzung erfuhr, suchte **Schuckert** in **Nürnberg**, welcher im Jahre 1876 die erste Flachringmaschine baute, diesen scheinbaren Mangel dadurch zu beseitigen,

dass er dem Trommelring eine geringere axiale Breite bei bedeutender radialer Tiefe gab.

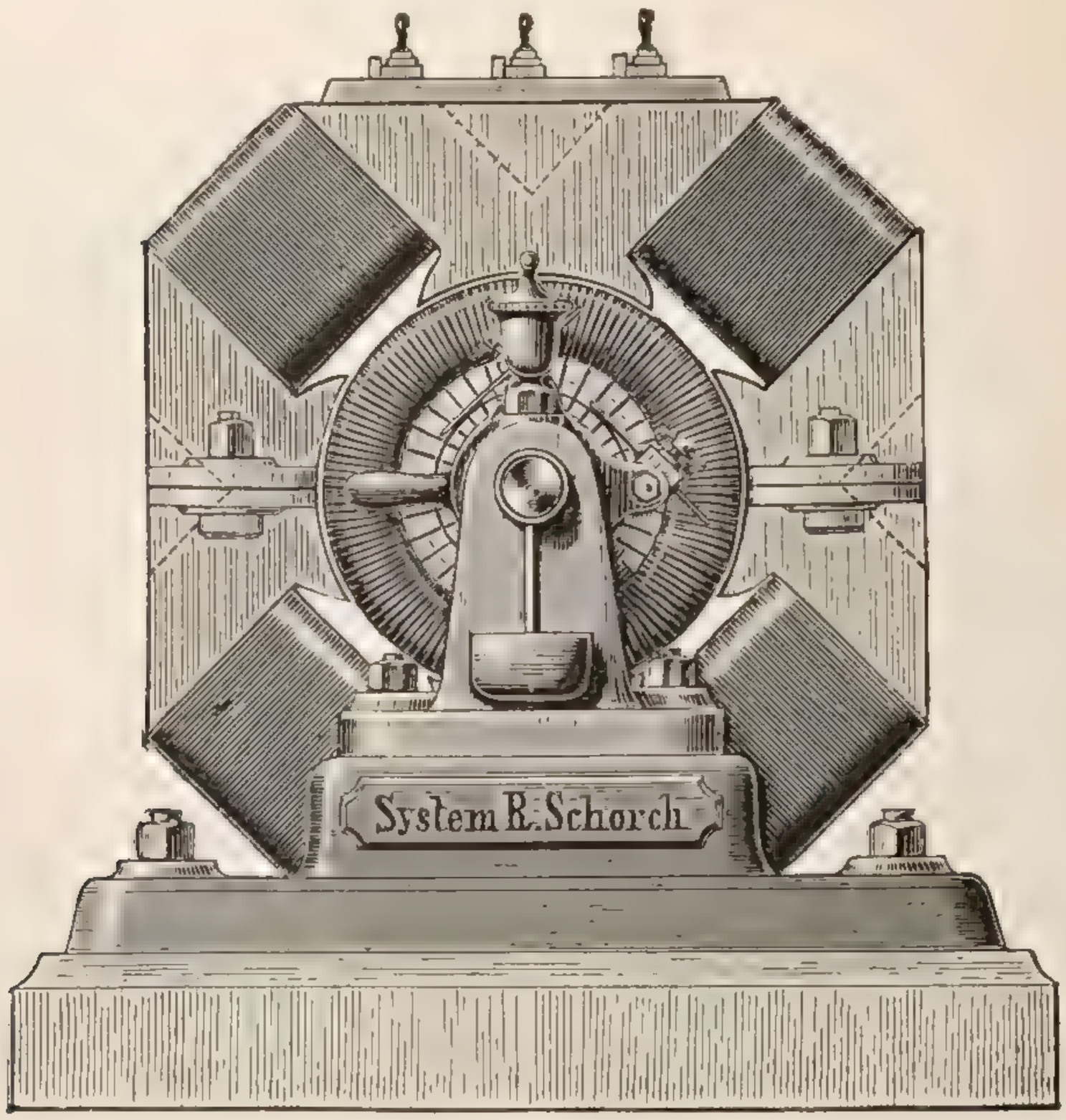


Fig 16.

Der Armaturkern seiner ersten Maschinen bestand aus einzelnen Blechscheiben, welche von einander durch dazwischen gelegte kleine Messingblechringe magnetisch isoliert waren. Hindurchgehende vernietete Messing-bolzen gaben dem ganzen Ringe genügende Festigkeit. Der Querschnitt des Ringkernes hatte die Gestalt eines an den Ecken abgerundeten Oblongums von geringer Breite, aber desto grösserer radialer Tiefe. Die magnetische Disposition entsprach ganz der der ersten

Gramme-Maschinen mit Folgepolen. Nur wurden die gusseisernen Magnetschenkel in der Mitte ausgespart, um den Flachring aufnehmen zu können; lappenartige Er-

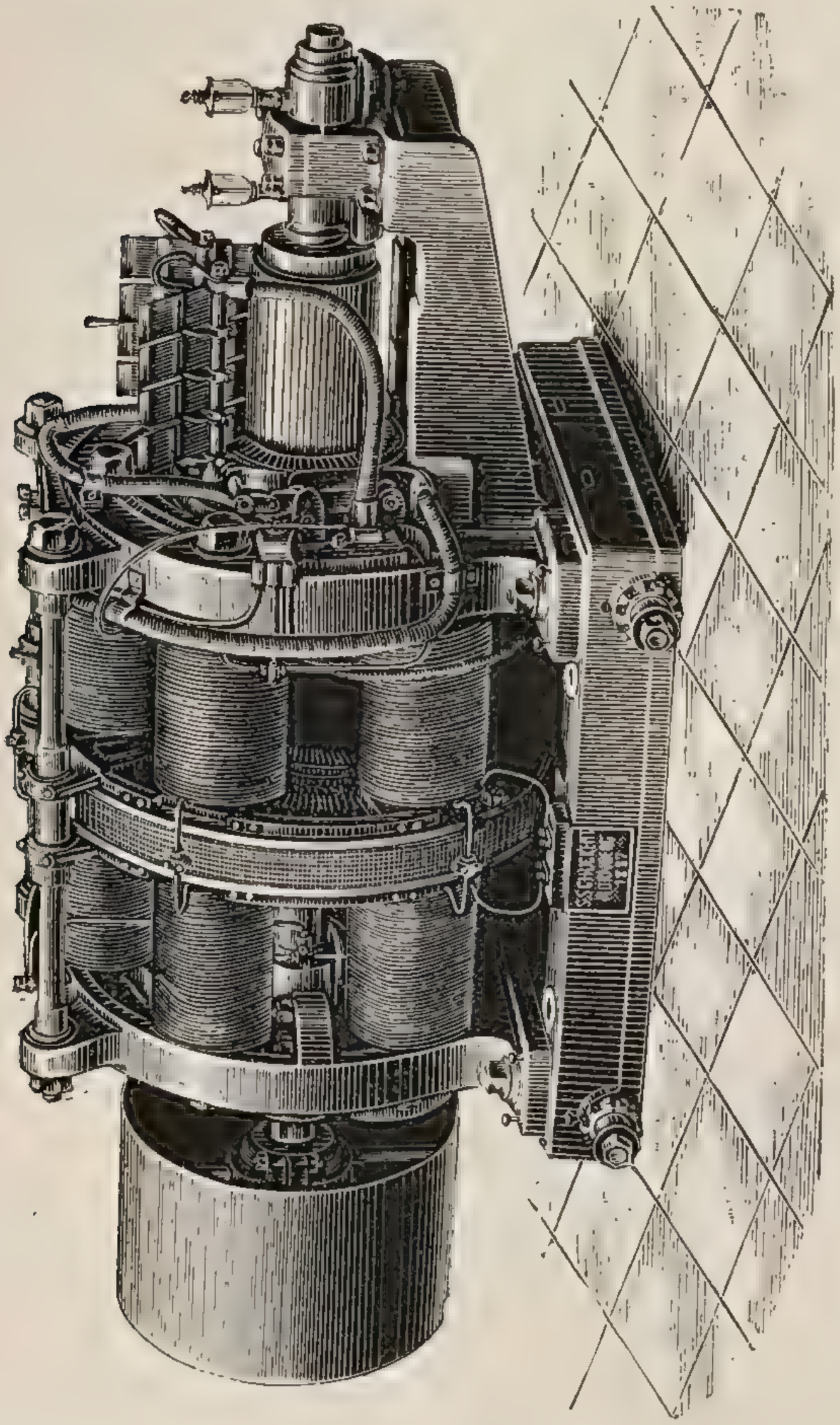


Fig. 17.

weiterungen umfassten den Ring auf einer beträchtlichen Strecke seines Umfanges. Später wurde jedoch diese

Konstruktion dahin abgeändert, dass nun an die Stelle je eines gusseisernen Doppelschenkels zwei getrennte schmiedeeiserne Kerne treten, deren gleichpolarisierte Endflächen den Breitseiten des Ringes gegenüberstehen.

Im Laufe der Zeit hat die Flachringmaschine noch weitere Verbesserungen erfahren, dieselben beziehen sich im Besonderen auf einen kräftigeren Bau des ganzen Maschinengestelles und eine bessere Konstruktion des Armaturkernes. So wird Letzterer nicht mehr aus Blechscheiben, sondern aus Bandeisen oder Draht gewickelt.

Die grosse Betriebssicherheit der Schuckert'schen Flachringmaschinen, sowie die äusserst saubere und solide Ausführung derselben haben ihnen eine sehr grosse Verbreitung verschafft, grössere Modelle haben auch neuerdings vielfach Anwendung in Zentralstationen gefunden und sich durchweg vorzüglich bewährt.

Während Maschinen für kleinere Beleuchtungsanlagen stets mit zwei Polen gebaut werden, erhalten die grösseren Modelle vier, resp. sechs Pole (Fig. 17).

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Leistungsfähigkeit der grösseren Maschinen:

Modell.	Stromstärke in Ampère.	Klemmenspannung in Volt.	Tourenzahl pro Minute.	Bedarf an Pferdestärken.
JL_7	225	110	650	37
JL_8	300	110	500	48
JL_9	450	110	450	72

Auch andere renommierte Firmen haben sich mit dem Bau von Flachringmaschinen beschäftigt. Wir wollen die bedeutendsten derselben kurz besprechen.

In erster Linie wäre die Flachringmaschine von **Gülcher** zu nennen. Dieselbe zeichnet sich ebenfalls durch eine solide und praktische Konstruktion aus. Der Armaturkern, welcher aus Draht oder Bandeisen gewickelt ist, wird von den Polschuhen auf drei Seiten umschlossen, so dass eine sehr gute Ausnutzung des Armaturdrahtes erzielt wird. Ebenso besitzt die Armatur eine sehr ausgiebige Ventilation, welche dadurch noch wesentlich unterstützt wird, dass die einzelnen Spulen nur durch runde Stifte von einander getrennt sind, der zwickelartige Zwischenraum also auf diese Weise frei bleibt. Besonders bemerkenswert bei diesen Maschinen sind die ausserordentlich geringen Tourenzahlen pro Minute, welche nicht unwesentlich zur Betriebssicherheit derselben beitragen. Über die Leistungsfähigkeit derselben giebt die folgende Tabelle Auskunft:

Modell.	Leistung in Volt-Amp.	Tourenzahl.	Kraftverbrauch in Pferdestärken.
A	15000	150	25
B	30000	130	52
C	52000	130	90
D	97500	110	170

Mit der Herstellung der Gülchermaschinen beschäftigen sich ausser dem Konstrukteur **R. J. Gülcher** in **Biala** selbst, in Deutschland die **Actiengesellschaft Helios** in

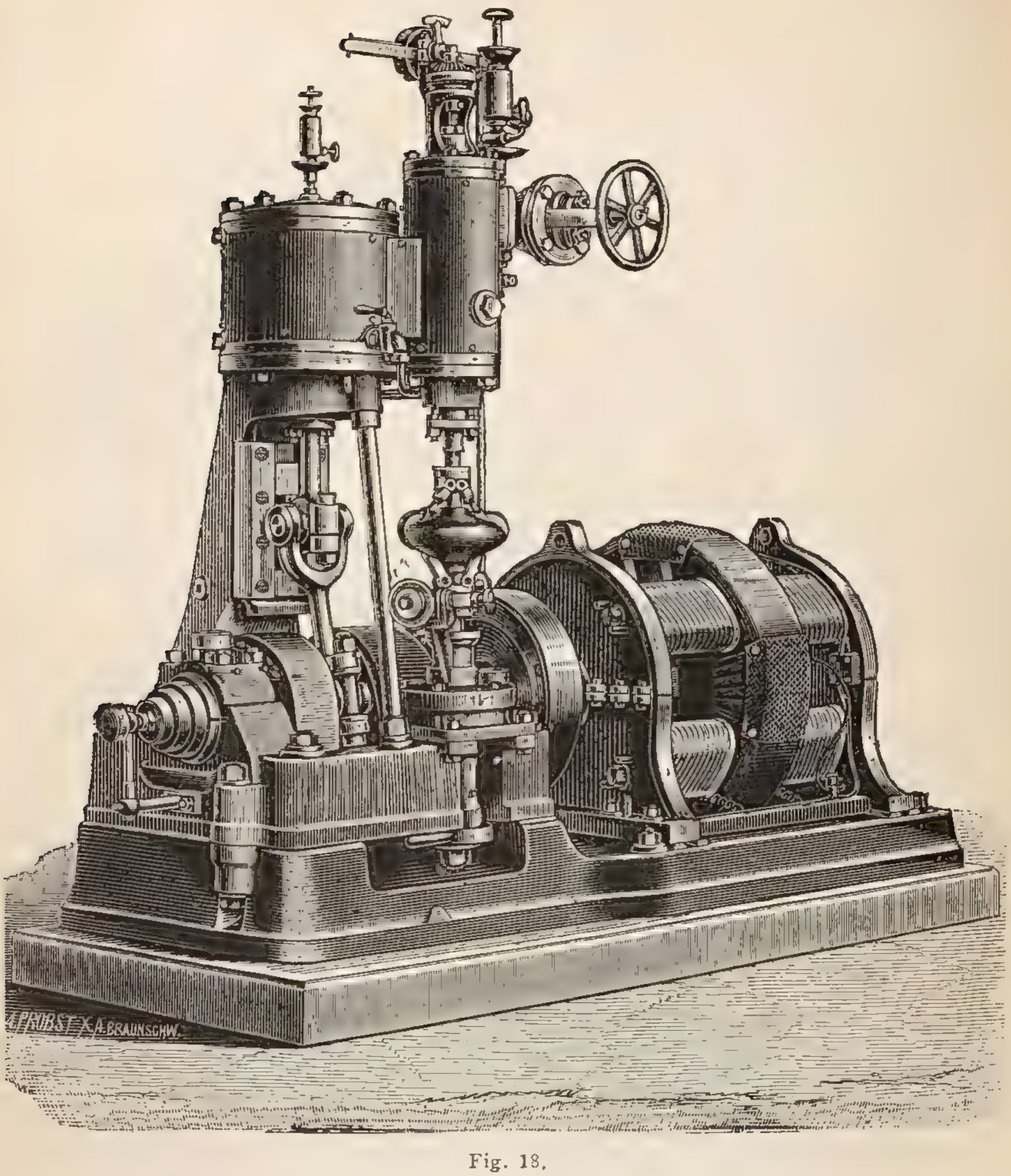
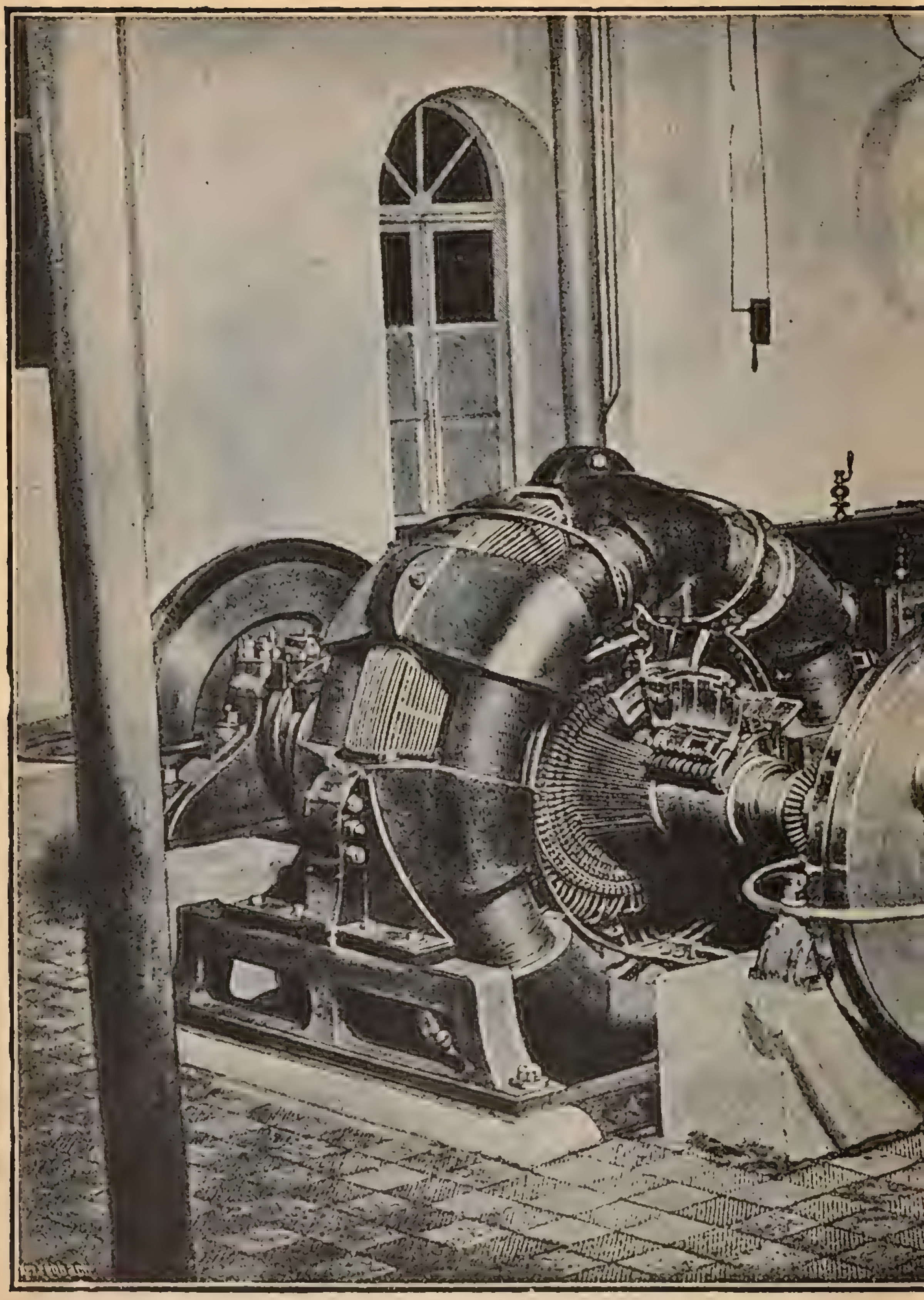
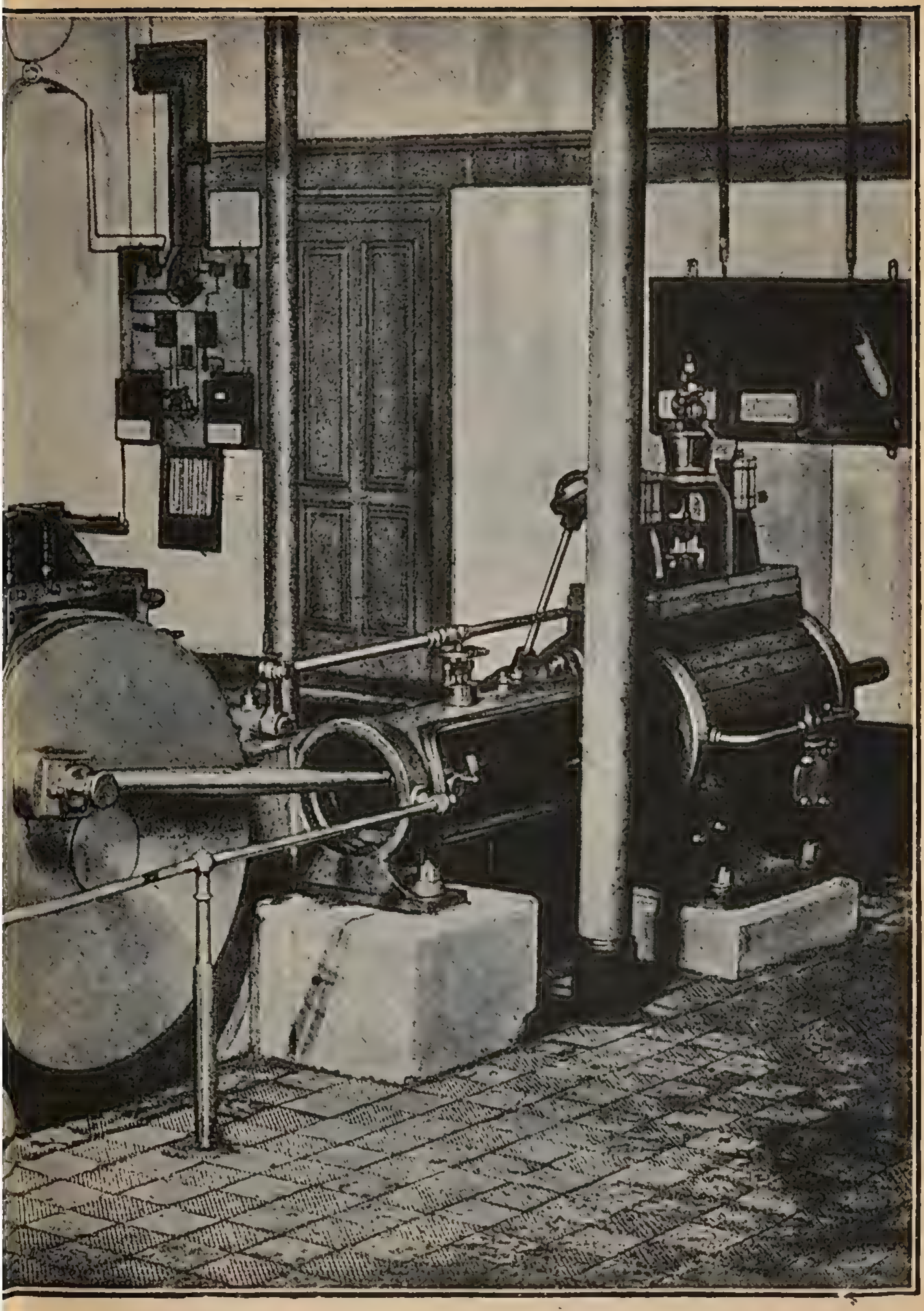


Fig. 18.



Figur 19. (Gehört zu d



dem Text auf Seite 33.)

Ehrenfeld-Cöln und die **Berliner Maschinenbau-Aktiengesellschaft**, vormals **L. Schwartzkopff**, in **Berlin**. Fig. 18 giebt uns die Ansicht einer von letzterer Firma hergestellten Gülchermaschine mit direkter Kuppelung.

Fig. 19 veranschaulicht eine von der Aktiengesellschaft **Helios** gebaute sogenannte Präzisionslichtmaschine, direkt mit dem Dampfmotor gekuppelt. Die Kuppelung dieser unterscheidet sich von der ersteren dadurch, dass die beiden Maschinen nicht mehr als separate Maschinen mit gemeinschaftlicher Welle bestehen, sondern die Armaturachse zugleich die Dampfmaschinenwelle bildet.

Einen weiteren wertvollen Fortschritt dieser in dem Bau von guten betriebssicheren Dynamomaschinen rührigen Firma bilden ihre neuen sogenannten **Normalmaschinen**. Bei diesen bildet das Schwungrad des Dampfmotors gleichzeitig den Induktor, indem mit demselben verschraubt, ein bewickelter Armaturkern um einen feststehenden Ring von Elektromagneten rotiert. In konstruktiver Hinsicht sind diese Normalmaschinen wesentlich von den Gülchermaschinen verschieden. Sie sind maschinell einfacher und besitzen einen weit höheren Wirkungsgrad.

Die Konstruktion einer solchen Maschine ist aus den Figuren 20, 21 und 22 ersichtlich.

Das Magnetrad ACB, ACB besteht aus einem geschlossenen schmiedeeisernen Ringe E, auf welchen die Polschuhe aufgeschweisst sind. Dies Magnetrad steht fest, während der Induktorring, am Schwungkranze des Schwungrades befestigt, mit letzterem rotieren kann.

Figur 21 und 22 lassen die einzelnen konstruktiven Details erkennen. Das elektrische Güteverhältnis dieser

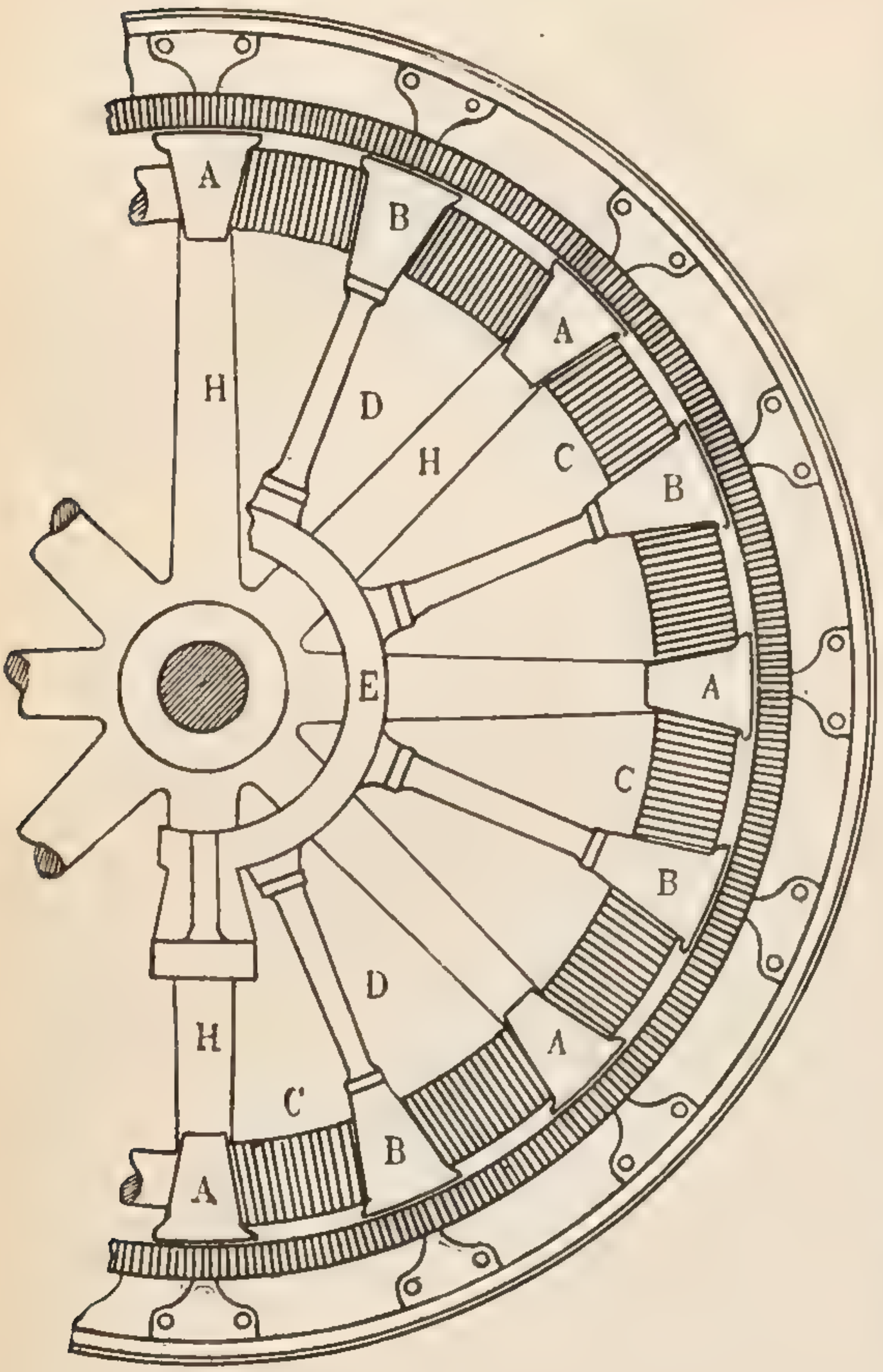


Fig. 20.

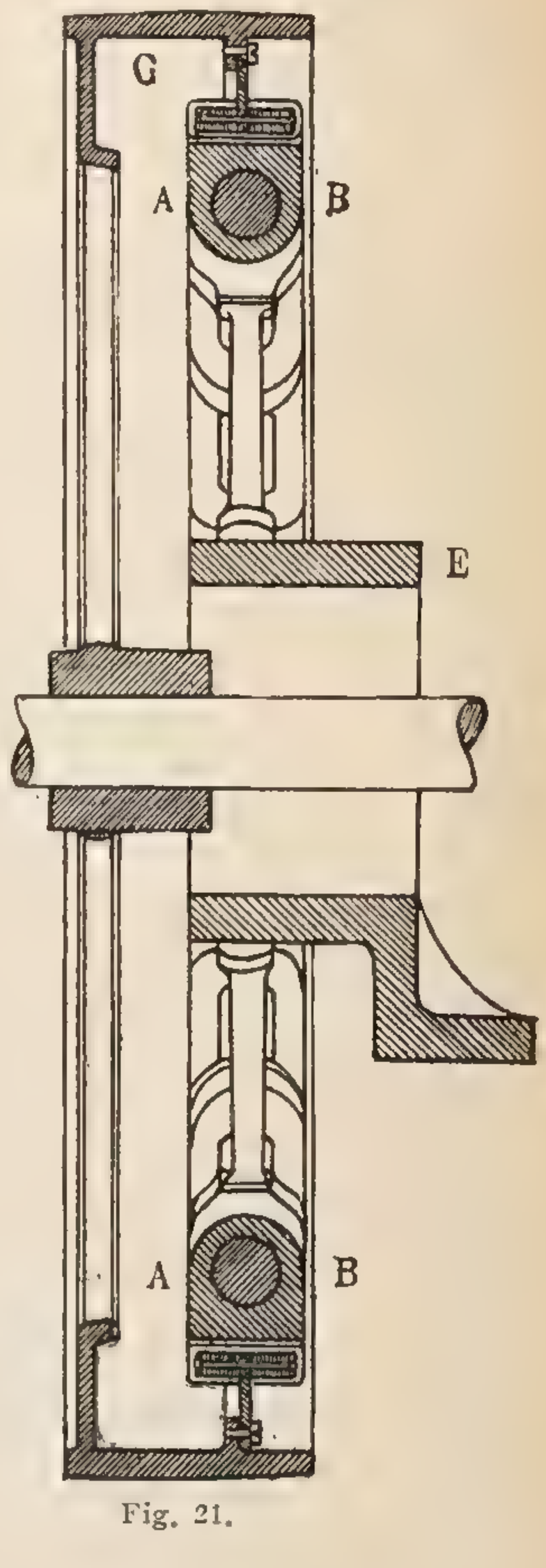
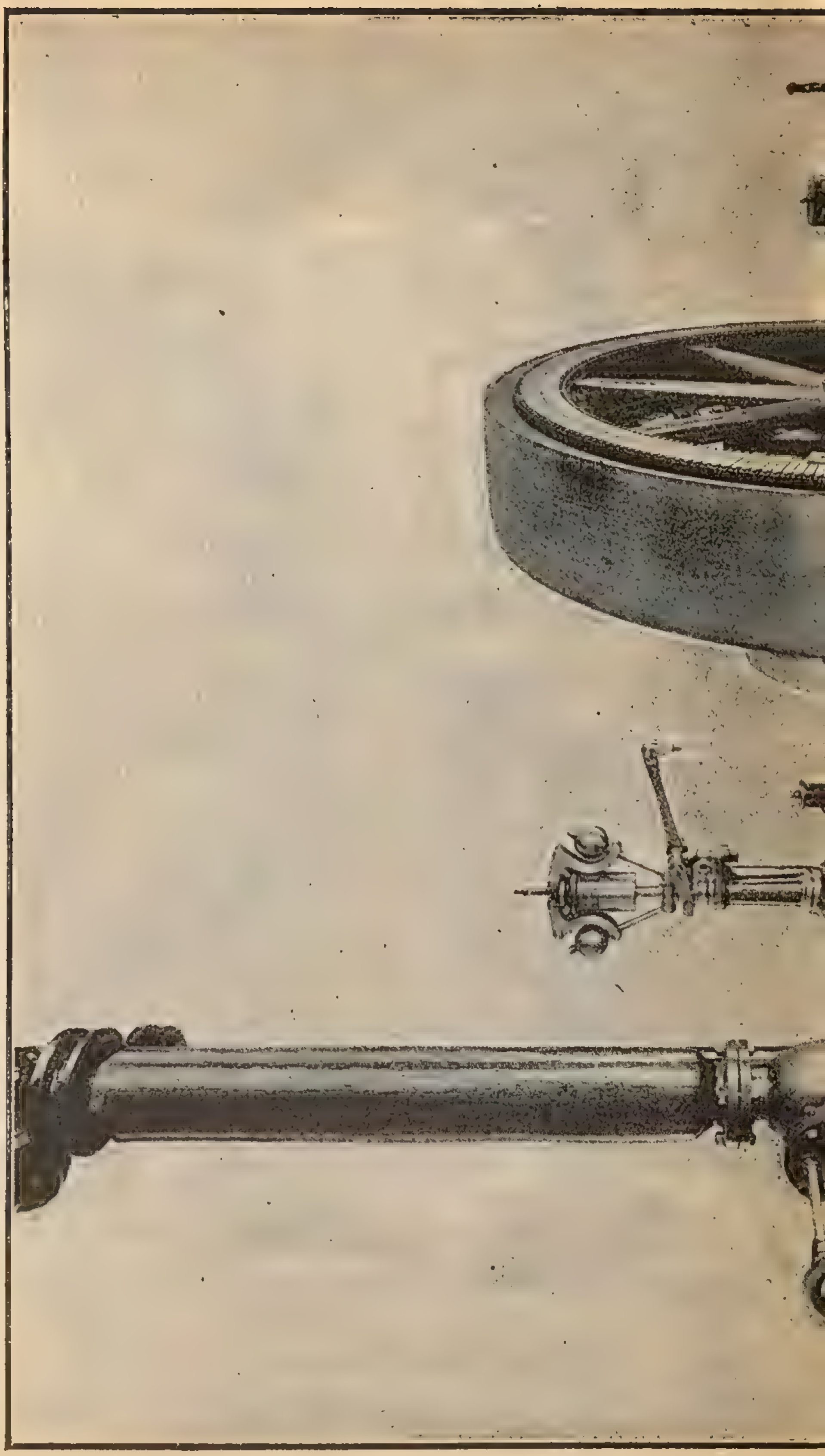


Fig. 21.

Maschinen ist mit über 90% berechnet. Die Maximalbelastung der Drähte beträgt 1,3 Ampère pro 1 qmm. Eine in Figur 23 abgebildete Maschine leistet 600 Amp.



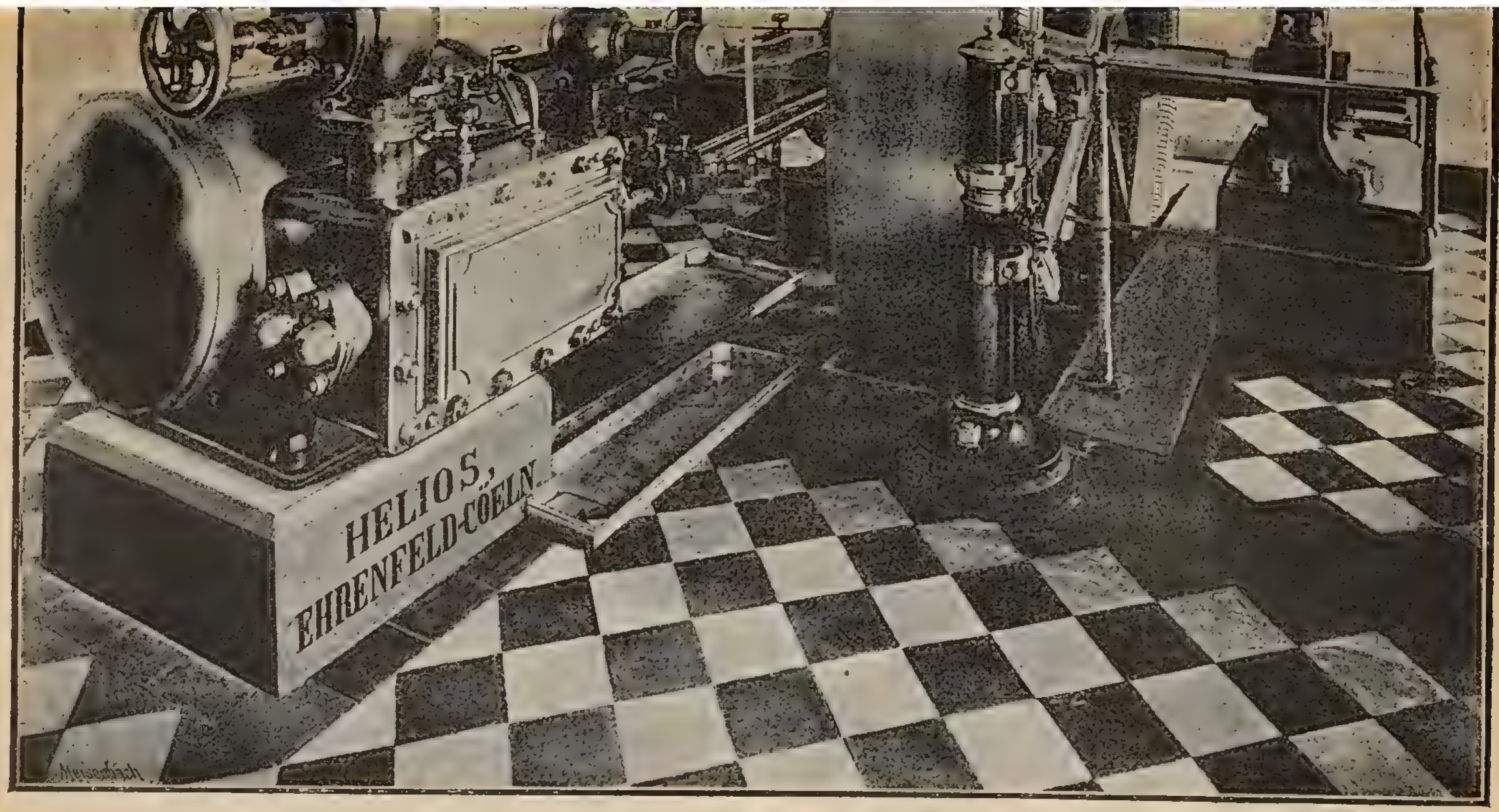


Fig. 23. (Gehört zu dem Text auf Seite 34.)

bei 65 Volt und macht 90 Umdrehungen pro Minute. Die erste Herstellung derselben erfolgte in der Mitte Februar 1887. Maschinen dieser Konstruktion sollen in

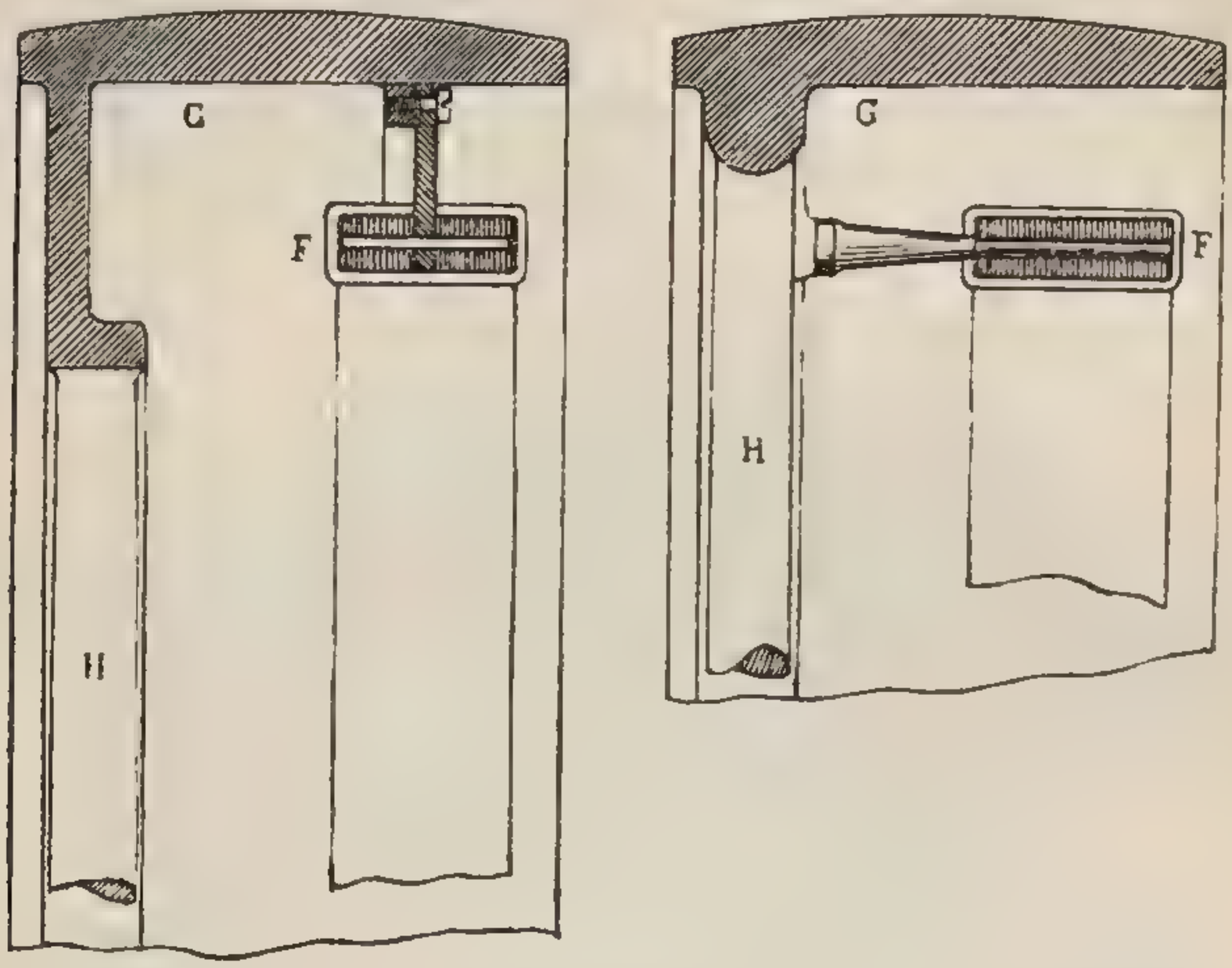


Fig. 22.

der Zentrale zu Amsterdam aufgestellt werden. Es dürften diese wohl auf dem Kontinent die grössten bisher gebauten Maschinen sein. Die Aktiengesellschaft Helios führt damit für Zentralbeleuchtungsanlagen die langsam gehenden Dynamos ein, wie sie überhaupt die ersten langsam laufenden Maschinen konstruierte.

Die Flachringmaschine von **Spiecker & Co., Kommanditgesellschaft für elektrische Beleuchtung in Köln** wird jetzt ebenfalls in grossen Modellen für Zentralstationen hergestellt. Die Bauart derselben ist eine solide. Im Besondern verdient die breite Basis bei niedrigster

Höhe der Achse über derselben hervorgehoben zu werden. Der Induktor ist nicht wie bei vielen Maschinen durch sogenannte Prazzen, d. h. Klemmbacken mit der Achse verbunden, sondern wird durch die kräftigen Arme einer Nabe gefasst, so dass die Drähte unberührt bleiben und nicht eingepresst werden. Figur 24 giebt eine Ansicht dieser Maschine.

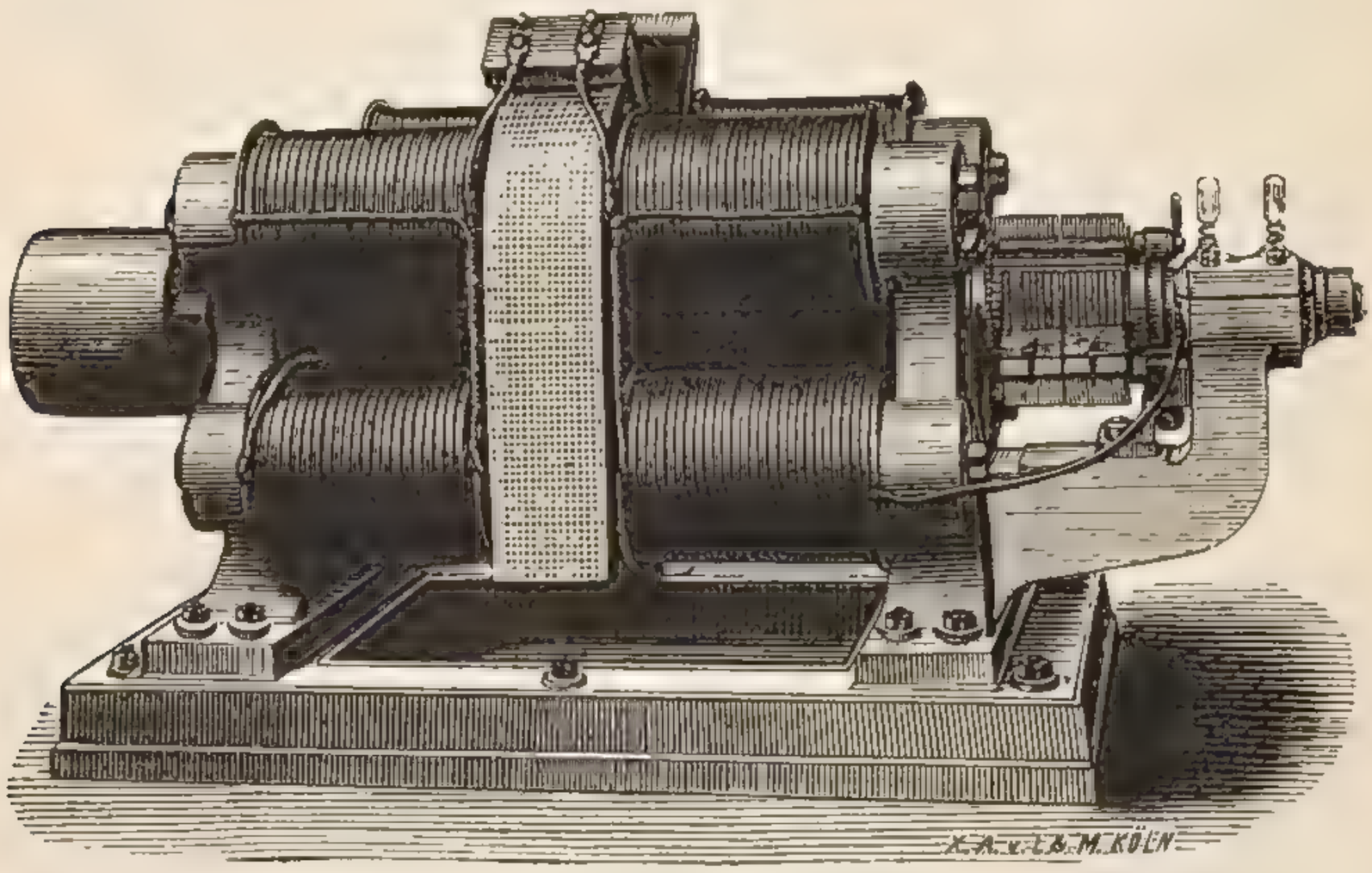
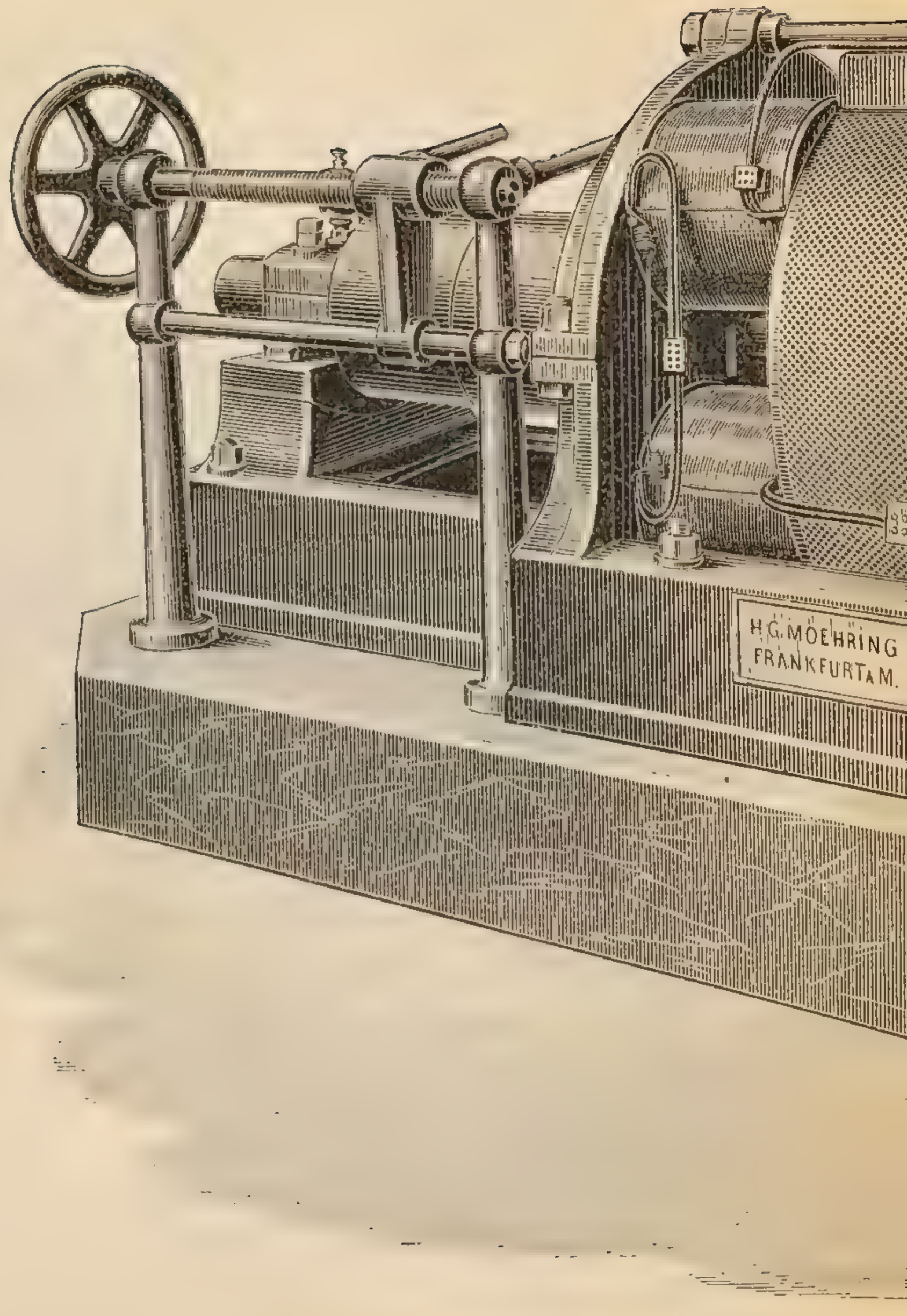
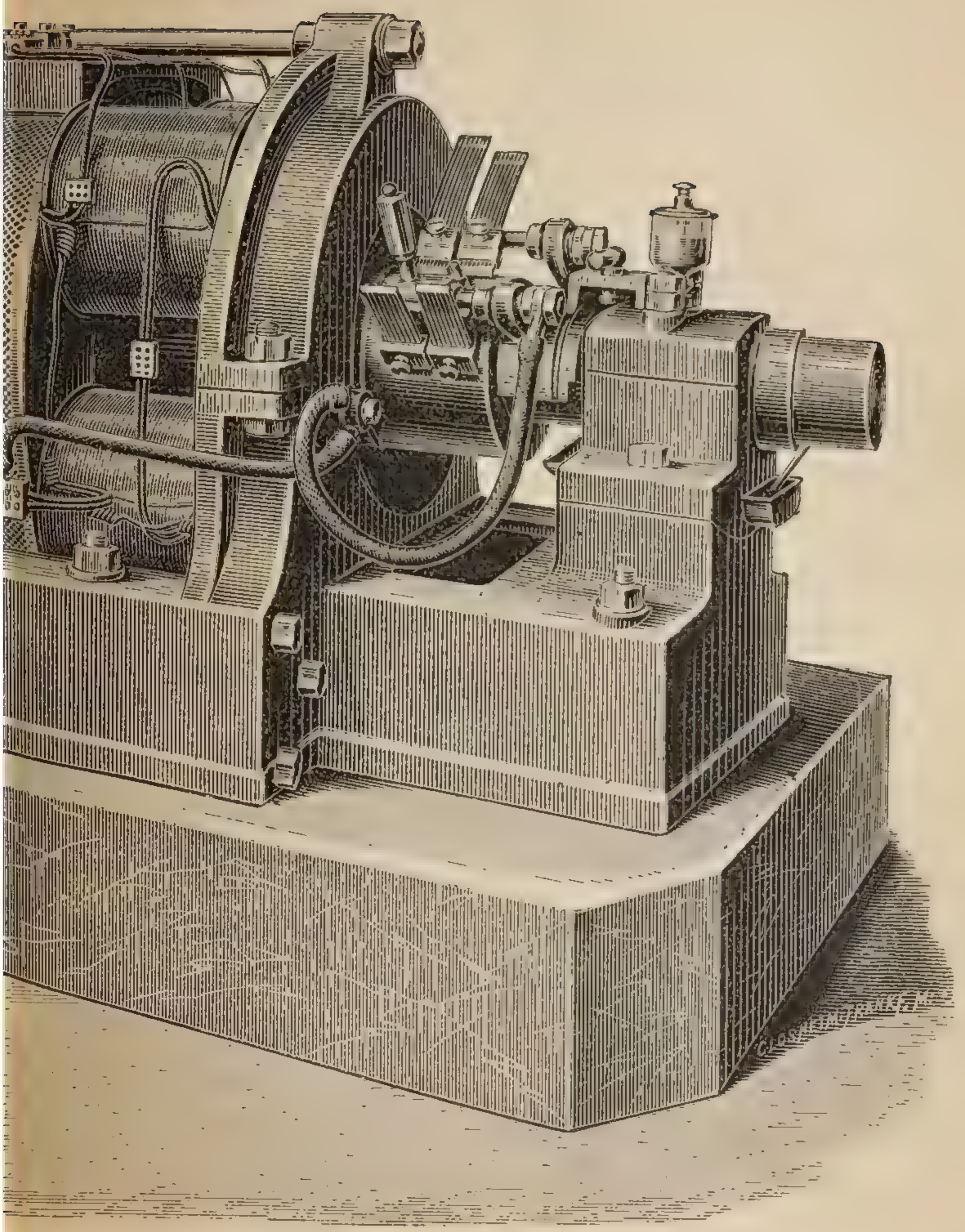


Fig. 24.

Von hervorragender Bedeutung ist die von der Firma **H. G. Möhring** in **Frankfurt a. M.** gebaute **Quadratringmaschine**, welche von **Correns**, dem Ingenieur dieser Firma, mit vielem Geschick konstruiert wurde. Die Leistungen der Maschinen sind ausserordentliche zu nennen. Die Tourenzahlen derselben schwanken zwischen 1000 und 600 für die gewöhnlichen Konstruktionen und zwischen 600 und 100 für grössere Konstruktionen.



Figur 25. (Gehort z



dem Text auf Seite 37.)

Fig. 25 giebt eine perspektivische Ansicht der Vierpolmaschine, welche, speziell für niedrige Touren bestimmt, bis zu Leistungen von 100,000 Voltampère gebaut wird. Erwähnung verdient auch eine neue ebenfalls von Correns konstruierte Zentralmaschine; dieselbe besitzt zwei Ringe, welche zwischen sich die radialstehenden Magnete aufnehmen und deren Polschuhe nach rechts und links über die Ringe hinweggreifen. Durch grosse Eisenquerschnitte der Ringe und der Magnete erscheint eine Streuung der Kraftlinien ausgeschlossen. Die für die beiden Ringe gemeinschaftliche Achse durchsetzt die Magnete. Die Maschine ist für Leistungen von 800 Amp. bei einer Tourenzahl von 150 und weniger pro Minute bestimmt.

Schliesslich wollen wir noch die **Quadratringmaschine von J. Einstein & Co.** anführen, welche kürzlich in einer neuen Anordnung ausgeführt worden ist, die sowohl wegen ihrer Leistungsfähigkeit als auch wegen der zweckmässigen Form ebenfalls Beachtung verdient. Der Quadratring wird hier von vier radialen Magneten, welche in einem gegossenen Trommelgehäuse sitzen, induziert. Die Magnetkerne bestehen aus Schmiedeeisen und sind in den Gussmantel direkt eingegossen. Letzterer bildet mit der Grundplatte und den Lagerständern ein einziges Stück. —

Das Bestreben der Konstrukteure, den Kraftlinienweg in dem Maschinengestell thunlichst zu verkürzen und dadurch einen geringeren magnetischen Leitungswiderstand zu erzielen, führte dazu, die Rückplatte der

Maschinenkonstruktion derart zu verringern, dass dieselbe nur noch einen Vereinigungspunkt für sämtliche Magnete bildet, dass also die Magnete strahlenförmig sich um diesen Vereinigungspunkt gruppieren. Den freien Stirnflächen dieser Magnete müssen nun auch, wenn die Ausnutzung des magnetischen Feldes eine vollkommene sein soll, die zu induzierenden Drahtwindungen gegenüberstehen; es muss daher die Armatur derart beschaffen sein, dass sie die Magnete in ihrem Innenraum aufnehmen kann. Man nennt diese Maschinen **Innenpolmaschinen.** Mit dem Bau derselben beschäftigen sich die Firmen **C. &. E. Fein** in **Stuttgart**, **Ganz & Cie.** in **Budapest** und **Siemens & Halske** in **Berlin.**

Das Joch oder die Rückplatte dieser Konstruktionen ist, wie schon bemerkt, auf einen möglichst geringen Raum zusammengedrängt, während die Axen der Magnete senkrecht zur induzierten Drahtwindung stehen, ein Mittel, das schon öfter angewandt wurde, um die „Streuung" der Kraftlinien zu vermeiden. Die Magnete tragen keine Polschuhe und stehen fest; ihr Vereinigungspunkt ist am Maschinengestell solide befestigt. Die Armatur hat einen sehr grossen Durchmesser und ist seitlich mit einer sternförmigen Nabe verschraubt, welche fest auf der Welle aufgekeilt ist. Zur Stromabnahme dienen zwei paar Bürsten. Eine Maschine von **Siemens & Halske** für etwa 20,000 Volt hat einen Ring von 64 cm inneren Durchmesser und 20 cm Breite; sie leistet bei 350Touren

16,000 V.-A., bei 480 Touren 25,000 V.-A. und wiegt 1208 kg, wovon 146 kg auf das Kupfer kommen. Die Maschine kann direkt mit einem Dampfmotor gekuppelt werden.

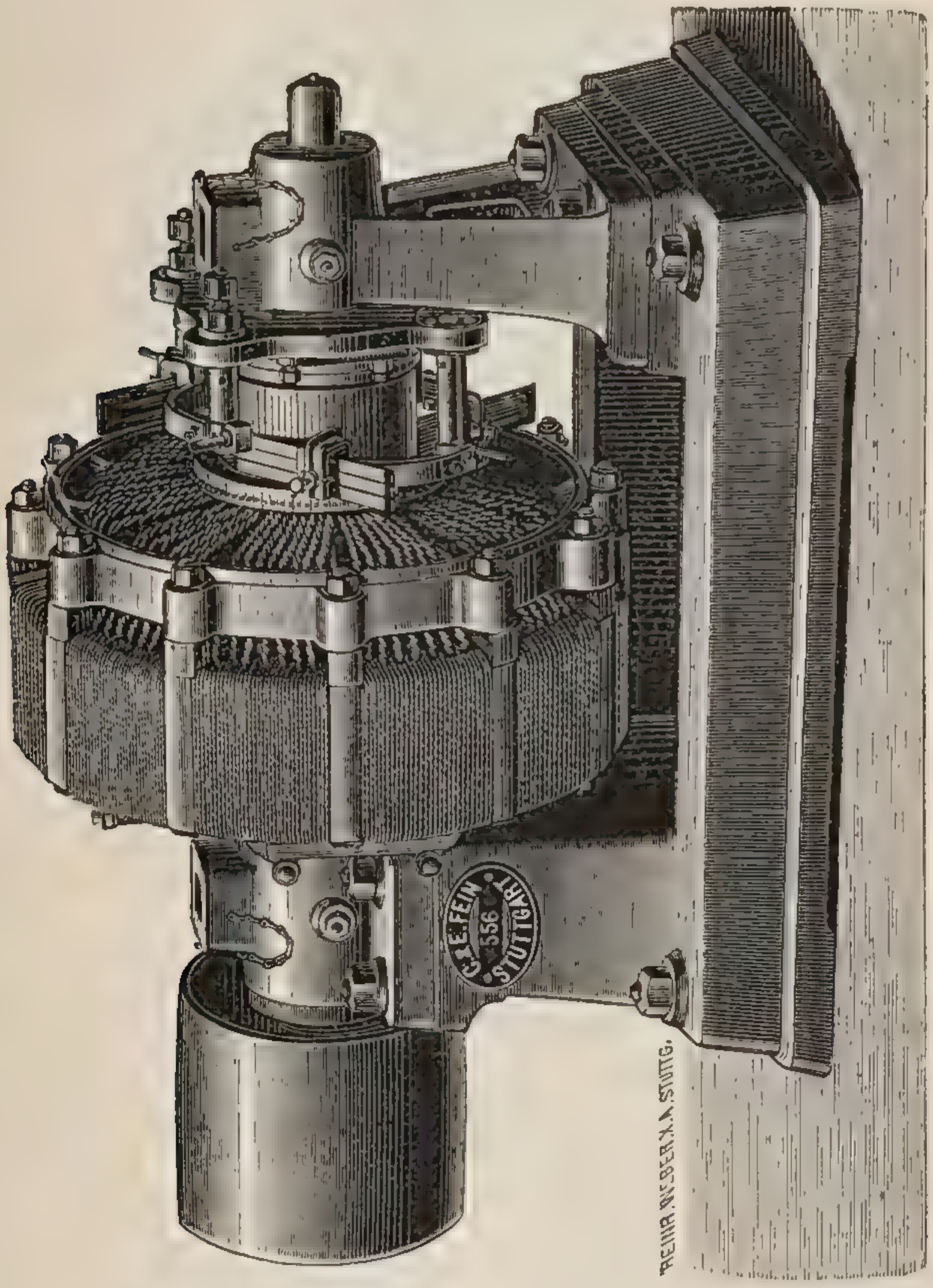


Fig. 26.

Eine von **C. & E. Fein** ausgeführte **Gleichstrommaschine** mit **Innenpolen** zeigt die nach einer photographischen Aufnahme hergestellte Fig. 26, während

Fig. 27 ein genaues und übersichtliches Bild ihrer magnetischen Disposition giebt, welches keiner weiteren Erklärung bedarf.

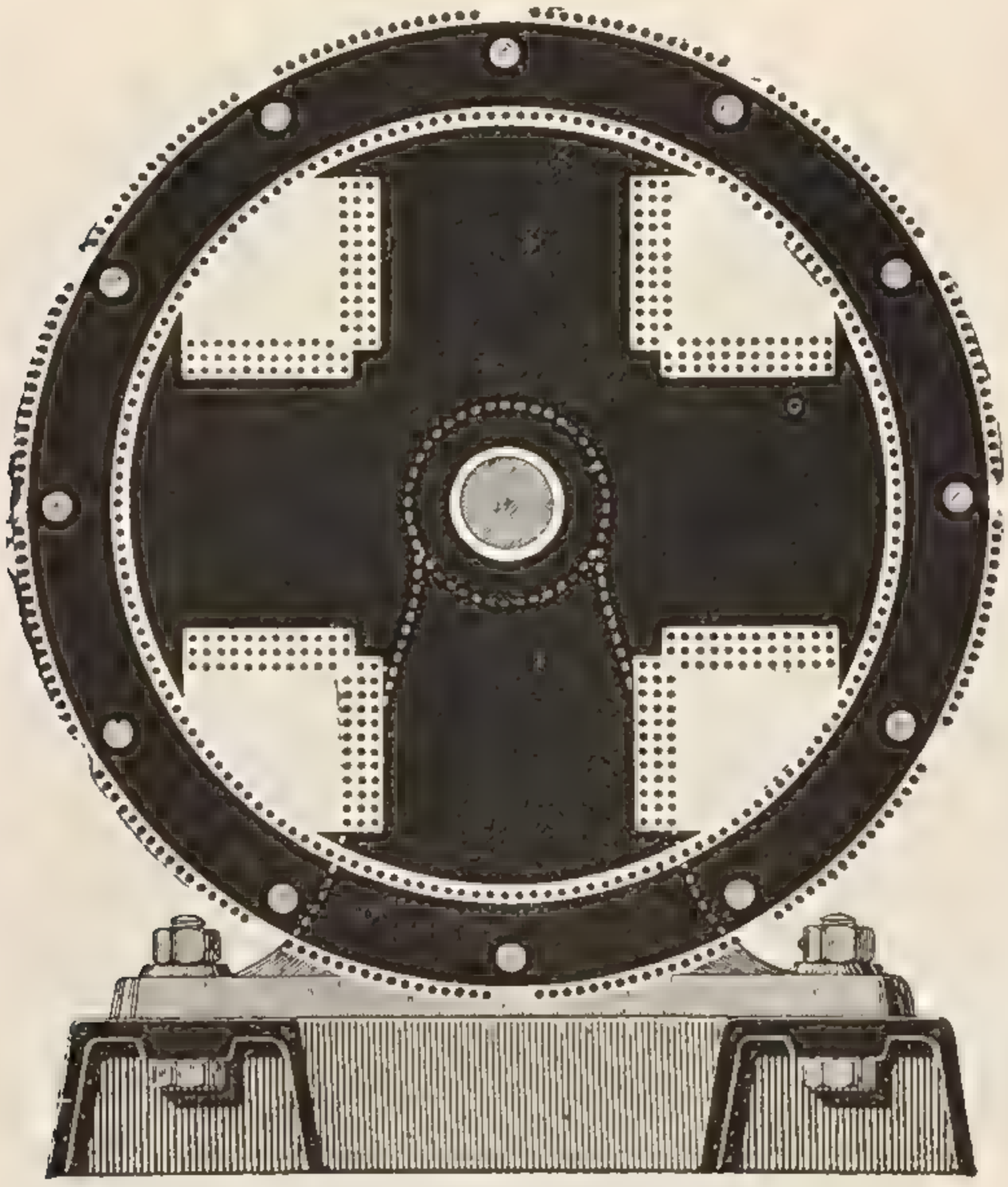


Fig. 27.

Der bewegliche Ringanker der Maschine, welcher in gewickeltem Zustand einen inneren Durchmesser von 500 mm und einen äusseren von 624 mm bei einer Breite von 165 mm hat, enthält einen Eisenkern, der aus circa 200 Blechscheiben zusammengesetzt ist, die durch Papierzwischenlagen sorgfältig von einander isoliert sind und mit Hilfe von 12 ebenfalls isolierten Metallbolzen zusammengehalten werden, durch deren Ver-

längerung der ganze Ring mittelst Muttern und Gegenmuttern auf dem Stern und dadurch auf die Maschinenachse befestigt wird. Die Drahtwickelung des Ankers besteht aus einer einzigen Höhenlage, welche 96 Abteilungen mit je sechs Nebenlagen enthält. Zu den Ankerwindungen wird ein Draht von quadratischem Querschnitt verwendet, damit der zur Verfügung stehende Wicklungsraum vollständig ausgenützt und der Ankerwiderstand möglichst vermindert werden kann. Die Magnetisierung des Ringes erfolgt durch vier feststehende, im Kreise radial angeordnete Magnetschenkel, welche aus einem Stück Gusseisen hergestellt und in ihrer gemeinsamen Mitte mit einer entsprechend grossen Bohrung versehen sind, mittelst der sie auf einen am Riemenscheibenlager angegossenen Zapfen befestigt werden. Ihr Querschnitt ist möglichst gross gewählt und hat eine mit abgerundeten Ecken versehene quadratische Form.

Die Leistungen dieser Fein'schen Maschinen sind gute zu nennen.

Die Anordnung der Innenpolmaschine von **Ganz & Cie.** ist fast die gleiche, nur besitzt diese Maschine sechs Pole. Ferner besteht sie aus sechs feststehenden Elektromagneten, welche mit dem Riemenscheibenlager aus einem Stück gegossen sind, während der Ring, seitlich gefasst, über den Elektromagneten hinwegrotiert.

Die Innenpolmaschine ist ihrer Natur nach hauptsächlich für eine Ausführung in grossem Massstabe geeignet. Zur Zeit sind von der Firma **Siemens & Halske**

mehrere derartige Maschinen in Angriff genommen. Vier Stück von denselben, jede zu einer Leistung von 75,000 Volt-Ampère bei 150 Umdrehungen in der Minute, sind für die Beleuchtungsanlage des neuen Bahnhofes in Frankfurt a. Main bestimmt. —

Eine besondere Klasse von Dynamomaschinen, die in der Gestaltung des magnetischen Feldes und im äusseren Aufbau eine gewisse Ähnlichkeit mit den Flächring-maschinen haben, bilden die Maschinen nach dem **System Brush**. Dieselben besitzen gewissermassen einen Flachring, der aber, anstatt vieler Spulen, wie jene, nur eine beschränkte Anzahl, gewöhnlich 8, 12 oder 16, aufweist. Diese sind mit einem Kommutator und untereinander in einer originellen und von allen anderen Systemen abweichenden Weise verbunden.

Die Maschinen nach dem System Brush zeichnen sich vor anderen Typen dadurch vorteilhaft aus, dass sie ausserordentlich hohe Spannungen zu erzeugen imstande sind. So werden in Amerika Gleichströme von 4800 Volt bei einer Stromstärke von 12 Ampère durch Brush-Maschinen erzeugt, welche dazu dienen, grosse Komplexe von einer weit entfernten Zentrale aus mit Bogenlicht zu erhellen.

Die grösste Dynamo der Welt wurde kürzlich durch **Brush** für die **Cowles Electric Smelting Cie.** in **Ohio** gebaut. Dieselbe bietet eine Leistung von 3800 Ampère und 100 Volt. Der Kommutator dieser Maschine arbeitet sehr gut, trotz der enormen Schwierigkeit, 3800 Ampère

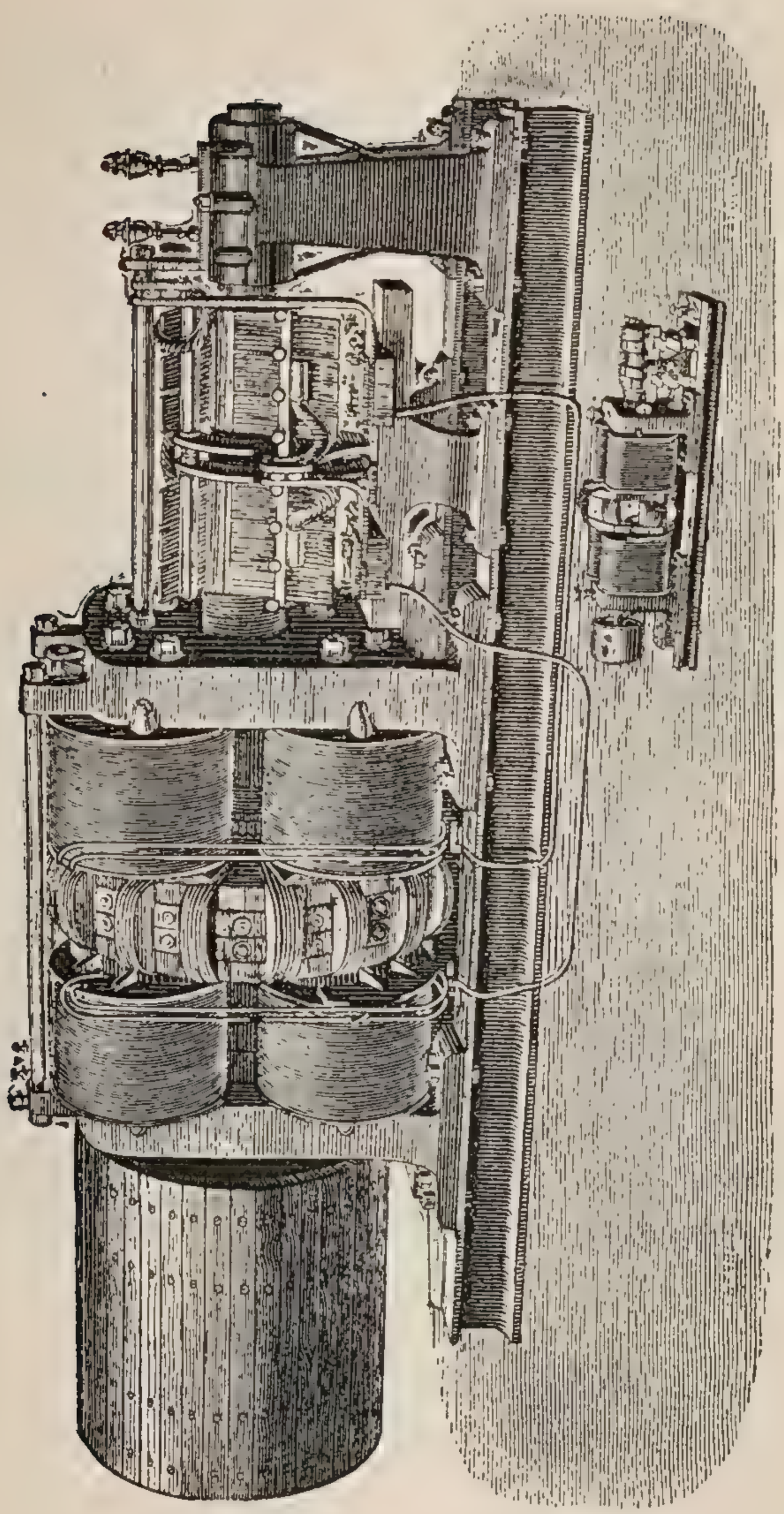


Fig. 28.

bei 100 Volt zu kommutieren. Die Leistung der Maschine von 380,000 V.-A. entspricht circa 7200 Glühlampen. Bemerkenswert ist, dass zur Erzeugung von 1 V.-A. nur 7,45 Gramm Kupfer verwandt worden sind. Die Tourenzahl der Maschine, welche bei vollem Betriebe ca. 500 Pferdestärken erfordert, beträgt 430 pro Minute.

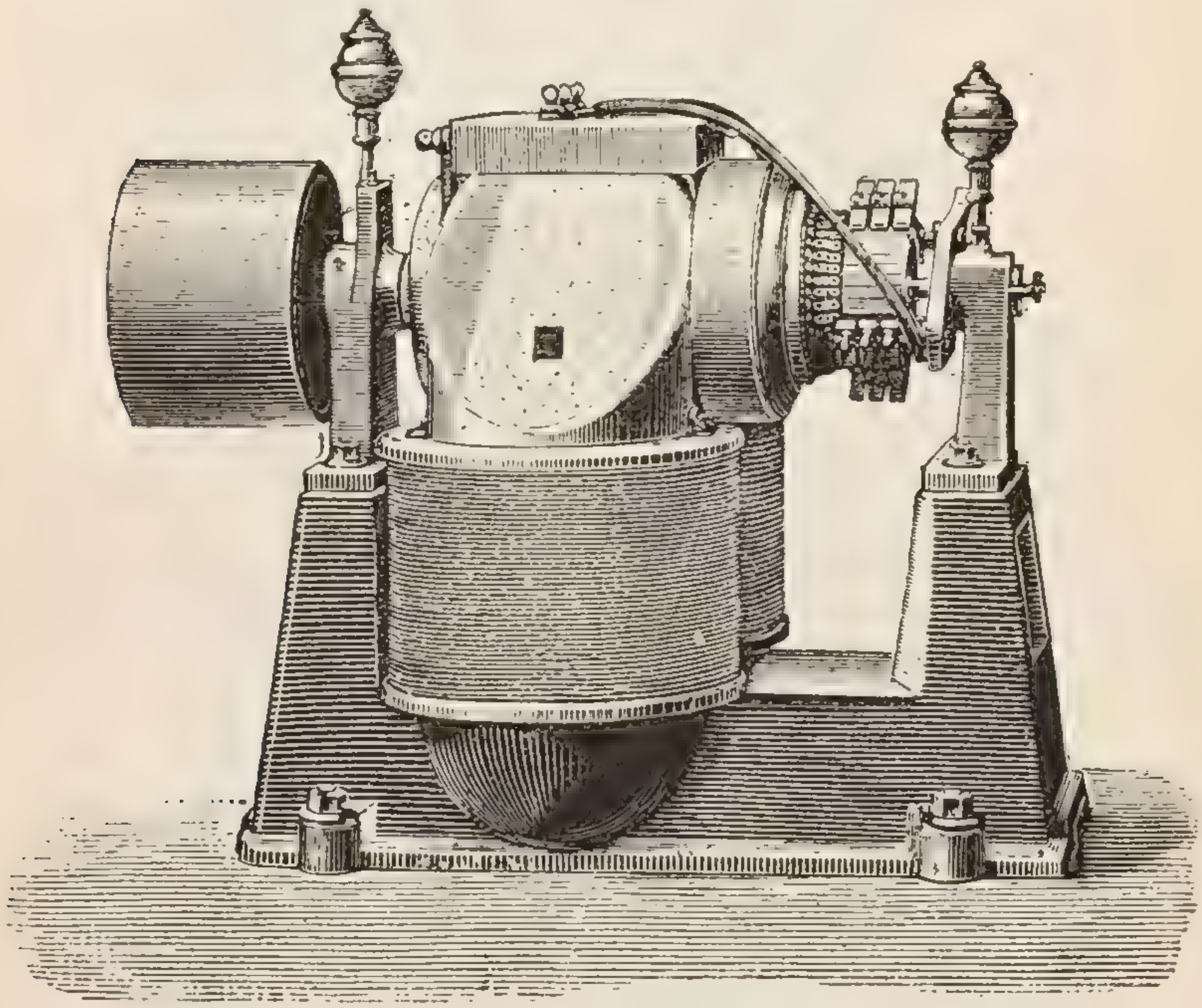


Fig. 28.

Figur 28 giebt eine Ansicht dieser Maschine, neben derselben befindet sich zum Vergleich das kleinste Modell dieser Gattung.

Die Brush-Maschinen haben in Amerika eine grosse Verbreitung gefunden. —

Wir wenden uns nun zu den **Maschinen mit Trommel-Armatur** und **von Hefner-Alteneck'scher Wicklung.**

Diese Wicklung ist aus einer Vervielfältigung der Wicklung des Doppel-**T**-Ankers entstanden. Die ersten Maschinen dieser Art wurden bei **Siemens & Halske,** von **v. Hefner-Alteneck** gebaut und lange Zeit blieb die magnetische Disposition dieser Maschinen das Vorbild für viele deutsche Dynamokonstruktionen.

In letzter Zeit ist indessen diese Anordnung von Siemens & Halske verlassen worden, augenblicklich baut diese Firma eine Type, welche der Original-Gramme-Maschine gleicht und mit dieser eine ausserordentliche Leistungsfähigkeit gemein hat.

Fig. 29 stellt dieses Modell dar, wie es für den Betrieb kleinerer Glüh- und Bogenlicht-Anlagen und auch in grösserem Massstabe für Zentralstationen Verwendung gefunden hat.

Auf einer gusseisernen Grundplatte sind zwei Lagerböcke aufgebolzt, welche die Trommel oder den Maschinenanker tragen und zwischen denen die beiden cylindrischen, mit der Grundplatte aus einem Stück gegossenen Magnetschenkel sich erheben. Die Polenden dieser Magnetschenkel sind entsprechend der zwischen ihnen rotierenden Trommel ausgedreht, so dass sie diese möglichst dicht umschliessen.

Die Magnetschenkel zeichnen sich durch einen sehr starken Querschnitt aus, dessen Durchmesser ungefähr dem Durchmesser der Trommel entspricht.

Der massive und einheitliche, durch keine Verschraubungen oder anderweitigen Verbindungen unterbrochene Aufbau des Magnetsystems, in Verbindung mit einer der Eigenart desselben angepassten Ankerkonstruktion, bewirkt die Bildung eines magnetischen Feldes von einer aussergewöhnlichen Kraftwirkung, und dementsprechend zeichnet sich dies Modell nicht nur durch seine kompakte und kompendiöse, jedes Zittern vermeidende Konstruktion, sondern auch durch einen hohen Nutzeffekt, einen sehr gleichförmigen Strom und durch eine bemerkenswerte Leistungsfähigkeit im Vergleich zu seinem Gewichte aus.

Hervorzuheben in der Konstruktion dieser Maschine sind noch die als Ölfilter eingerichteten Schmiergefässe. Dieselben gestatten, dass man das durch die Lager ziemlich schnell hindurchgeführte Öl sehr oft zu benutzen vermag, indem dasselbe in einem unter den Lagern angebrachten Behälter aufgefangen wird und also wieder in den Schmierfilter gegossen werden kann, welcher dasselbe gereinigt den Lagern abermals zuführt, wodurch eine bedeutende Ersparnis an Öl zu erreichen ist.

Die Betriebsleistungen dieser Maschinen sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

Modell-Bezeichnung.	Klemmen-spannung.	Maximale Stromstärke.	Ungefähre Tourenzahl.
H 17	120	210	650
H 17	100	250	
H 17	65	380	
H 18	120	260	600
H 18	100	320	
H 18	65	480	
H 20	120	360	556
H 20	100	430	
H 20	65	650	

Die gleiche magnetische Disposition, nur in umgestürzter Form, zeigt die **Edison-Maschine.** Die ersten Maschinen dieser Art wurden im Jahre 1877 von **Th. A. Edison** gebaut. Die Magnetschenkel derselben waren unverhältnismässig lang und dabei von kleinem Durchmesser, während man jetzt allgemein bestrebt ist, die Kerne so kurz wie möglich zu machen.

Dies Bestreben zeigen auch die von der **allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin** angewandten Maschinen, welche von der Firma Siemens & Halske für Rechnung der Gesellschaft gebaut werden. Fig. 30 giebt uns die Ansicht einer solchen Maschine mit drei Elektromagnetpaaren. Gegenwärtig wird selbst bei den ganz grossen Maschinen nur noch ein Elektromagnetenpaar mit massigen Polschuhen benutzt. Zwischen denselben rotiert die Armatur. Letztere ist nach Art der von Hefner-Alteneck'schen Trommel gewickelt und besteht aus einer grossen Anzahl von Blechscheiben, die, durch Papier von einander isoliert, von zwei kräftigen

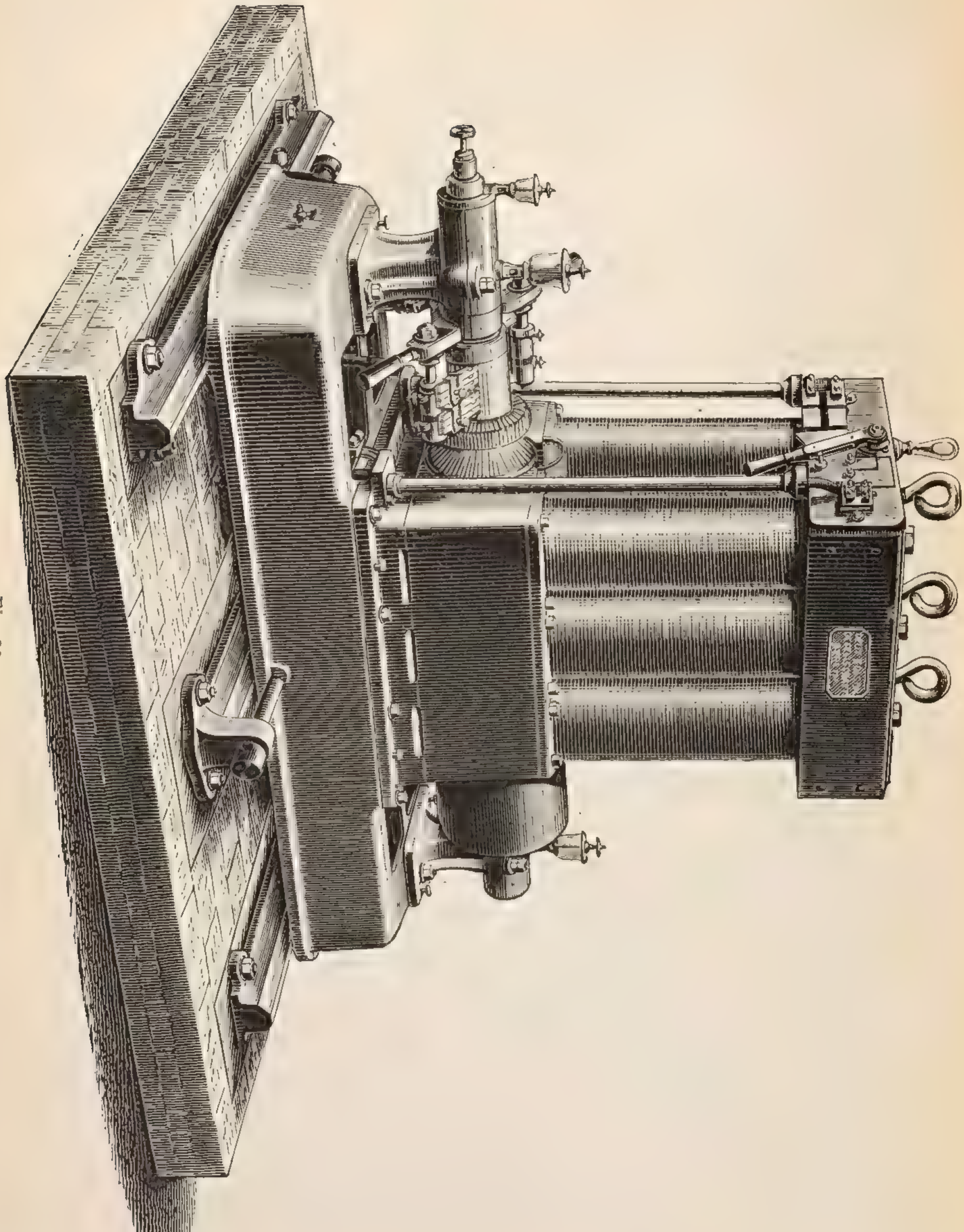


Fig. 30.

Endscheiben, welche mittelst Gewinde auf der Achse sitzen, gegeneinandergepresst werden. Die Armatur kann sich in der Längsrichtung der Welle mit einem gewissen Spielraume bewegen; die Lager werden durch Wasser gekühlt. Auf dem hölzernen Untergestell sind guss-eiserne Schienen befestigt, welche der Maschine als Gleitbahn dienen. Es ist daher eine genaue und leichte Parallelverschiebung der Maschine möglich. Die Grund-platte ist von den Polstücken durch eine Zinkplatte getrennt.

Die Maschinen haben bereits vielfach in Zentral-stationen, besonders in Deutschland und Amerika Ver-wendung gefunden und sich durchweg als betriebssicher bewährt.

Die Maschinen der Firma **Cuènod Sautter & Cie., System Thury,** in **Genf** sind sechspolige Trommel-maschinen, welche wegen ihrer vorzüglichen mechanischen Konstruktion ebenfalls vielfach Verbreitung gefunden haben. So haben dieselben beispielsweise in 15 Zentralen, u. a. in Genf, Aufstellung gefunden. Die recht kompendiösen Maschinen besitzen eine ausserordentliche Leistungsfähigkeit. Der eiserne Kern der Trommel ist durch zwei Speichenräder auf das Solideste verbunden. Vermöge des grossen Durchmessers der Trommel und der sehr günstigen magnetischen Disposition des Gestelles ist die Tourenzahl dieser Maschinen nur eine geringe. Dieselben werden daher oft direkt mit dem Dampfmotor gekuppelt. Fig. 31 giebt eine äussere Ansicht einer

solchen Thury-Maschine. Die Leistungen derselben ergiebt die beigefügte Tabelle.

Modell-Bezeichnung.	Volt-Amp.	Tourenzahl.
IIA	27,500	450
HB	38,500	450
HC	55,000	450
HD	77,000	350
HE	125,000	—

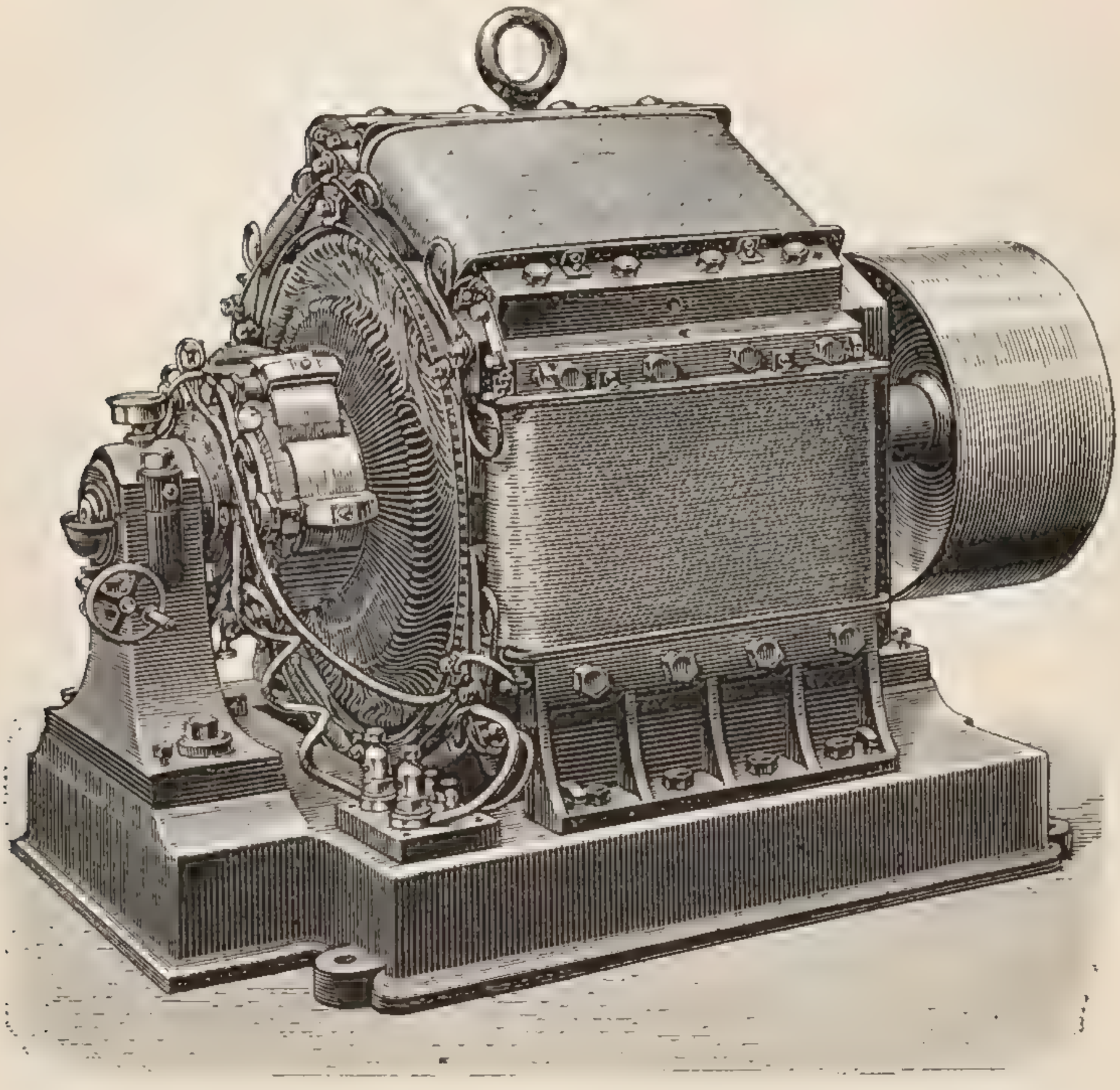


Fig. 31.

Letzteres Modell ist speziell für Zentralen bestimmt und macht bei direkter Kuppelung mit dem Motor für gewöhnlich 250 Umdrehungen.

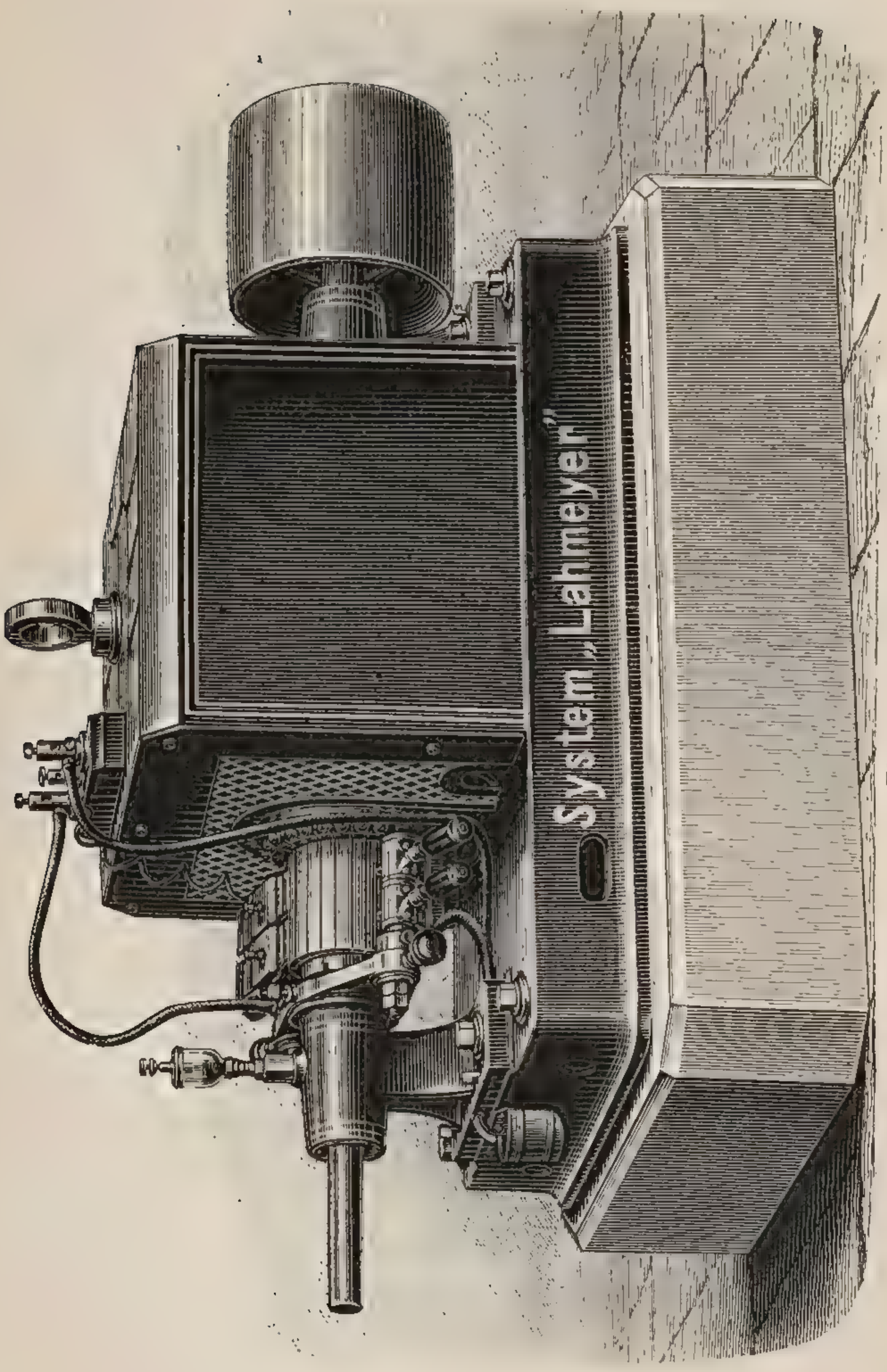


Fig. 32.

Eine Maschine, deren magnetische Disposition derjenigen der Maschine von van de Poele nachgebildet ist, jedoch in letzter Zeit in der Anordnung der Teile und der magnetischen Disposition bedeutende Verbesserungen erfahren hat, ist die Dynamomaschine von **Lahmeyer,** welche von den **deutschen Elektrizitätswerken, Garbe, Lahmeyer & Cie.,** in **Aachen** gebaut wird. Das magnetische Feld dieser Maschine besteht aus einem einzigen Gussstücke und unterscheidet sich von dem anderer zweipoligen Maschinen, deren Feld auch aus einem einzigen Gussstücke gebildet wird, dadurch, dass bei der Maschine Lahmeyer die die Magnetkerne verbindende Rückplatte doppelt vorhanden ist, dieselbe also die ganze Maschine einschliesst. Dadurch dass diese Rückplatten zuerst sich dicht an die äussere Fläche der Magnetspulen anlegen und dann im weiteren Verlaufe derselben weit ab von dem Armaturkern geführt sind, wird eine doppelte Ausnutzung der Magnetspulen bewirkt.

Die Folge davon ist eine sehr grosse Intensität des magnetischen Feldes und trotz der verhältnismässig wenig magnetisierenden Windungen der Schenkel eine sehr starke Magnetisierung. Fig. 32 zeigt die Lahmeyer-Maschine, die sich einer grossen Verbreitung im In- und Auslande erfreut, in neuester Konstruktion. Die grössten Typen liefern bei einem Kraftbedarf von 39, 58 resp. 93 Pferdestärken 26,000, 39,000 und 65,000 Volt-Ampère.

II.

Die Akkumulatoren.

Schon seit einer Reihe von Jahren ist die elektrotechnische Industrie unaufhörlich bestrebt, Vorrichtungen herzustellen, welche sich zur Ansammlung und Aufbewahrung elektrischer Energie eignen.

Den ersten Versuch in dieser Richtung verdanken wir den beiden Franzosen **Planté** und **Faure,** welche die Wahrnehmung machten, dass Bleiplatten, welche längere Zeit hindurch in verdünnter Schwefelsäure als Elektroden für eine Wasserzersetzung durch den elektrischen Strom gedient hatten, für einige Zeit einen kräftigen, in entgegengesetzter Richtung durch die Zersetzungszelle fliessenden elektrischen Strom zu erzeugen im Stande seien, wenn man nach Aufhören des die Wasserzersetzung hervorrufenden Stromes zwischen den Bleiplatten eine anderweite leitende Verbindung herstellt. Gleichzeitig stellte sich bei ihren Versuchen auch heraus, dass die Bleiplatten diese Eigenschaft **längere Zeit** hindurch behielten, und zwar um so mehr, je dicker die Oxydschicht gewesen war, welche vorher die Oberfläche der Bleiplatten bedeckt hatte. Man machte ferner die Wahrnehmung, dass Bleiplatten, welche öfter für solche Versuche gedient hatten, dadurch immer mehr die

Fähigkeit gewannen, eine gewisse Elektrizitätsmenge in sich aufzunehmen und später wieder abzugeben.

Freilich war von diesen Versuchen und Beobachtungen bis zur fabrikmässigen Anfertigung von derartigen Vorrichtungen, welche für den Gebrauch im praktischen Leben geeignet sind, noch ein langer und sehr mühevoller Weg zurückzulegen. Erst in den letzten Jahren ist es gelungen, die zahlreichen Schwierigkeiten so weit zu überwinden, dass man jetzt für eine grosse Anzahl von Zwecken den Gebrauch der unter dem Namen **Akkumulatoren** bekannten **elektrischen Sammler** empfehlen kann.

Die bedeutendsten Firmen, welche sich mit der Anfertigung resp. dem Vertrieb guter Akkumulatoren beschäftigen, sind: die **Electrical Power Storage Company** (eigenes System) in **London, J. L. Huber** in **Hamburg** (System **Julien**), die **Electricitäts-Maatschappy** (System **de Khotinsky**) in **Rotterdam** (Generalagentur in Berlin, Filiale in Gelnhausen), **Gelz & Odendall** (System **Farbaky-Schenek**) in **Wien**, und **Büsche & Müller** (System **Tudor**) in **Hagen**, Westfalen. Erwähnung verdienen auch die Akkumulatoren von **Brush** und **Reckenzaun.**

Sehen wir vorläufig von der **äusseren Gestaltung** der Akkumulatoren ab, so unterscheiden sie sich hauptsächlich durch ihre **Lebensdauer**, ihre **Kapazität** (d. h. die Menge elektrischer Energie, welche sie für 1 kg Gesamtgewicht aufzunehmen im Stande sind), ferner durch

die **Stärke des Stromes** (welche man für 1 kg Gewicht des Akkumulators beim Laden resp. Entladen zur Anwendung bringen darf), und endlich durch ihren **Wirkungsgrad.**

Unter dem Wirkungsgrad eines Akkumulators versteht man das Verhältnis der elektrischen Arbeit (**Volt-Ampère-Stunden** oder **Watt-Stunden**), welche aufgewendet werden muss, um den Akkumulator durch Ladung aus einem gewissen Anfangszustand in einen gewissen Endzustand überzuführen, zu der elektrischen Arbeit, welche der Akkumulator leistet, wenn er bei der Entladung aus diesem Endzustande wieder in jenen Anfangszustand zurückkehrt. Man kann aber auch umgekehrt einen geladenen Akkumulator zuerst aus dem Anfangszustande bis zu einem gewissen Endzustand entladen und mit der dabei abgegebenen elektrischen Arbeit jene vergleichen, welche aufgewendet werden muss, um den Akkumulator durch Ladung wieder in jenen Zustand vor der Entladung zurückzuführen. Ganz dasselbe gilt, wenn es sich blos darum handelt, die zwischen zwei bestimmten Grenzzuständen des Akkumulators aufgenommene und abgegebene Elektrizitätsmenge (Ampère-Stunden) zu vergleichen. Hieraus ist ersichtlich, dass es bei solchen Untersuchungen über die Leistungen von Akkumulatoren darauf ankommt, sichere Kennzeichen für die Grenzzustände zu haben, zwischen welchen Ladung und Entladung in Betracht gezogen werden.

Bezüglich der **Maximal - Kapazität** eines Akkumulators mag noch bemerkt werden, dass man auf 1 kg Gesamtgewicht desselben höchstens 6 Ampère - Stunden rechnen darf. Nimmt man die Polspannung zu rund 2 Volt an, so entspricht diese Leistung 12 Volt-Ampère-Stunden = 4,402 mkg, also die Entladung eines Akkumulators einer Arbeit gleich der Hebung des Akkumulatorgewichts auf eine Höhe von 4,402 m. Insofern aber das Plattengewicht eines Akkumulators ungefähr gleich $^2/_3$ des Gesamtgewichts anzunehmen ist, hat man auf 1 kg Plattengewicht höchstens 9 Ampère-Stunden zu rechnen, wobei aber die Entladung nur bis zu einer Abnahme der Polspannung um höchstens 10 % zu treiben ist.

Gehen wir nun über zur Beschreibung der äusseren Gestalt der Akkumulatorentypen, und betrachten wir zunächst diejenigen der **Electrical Power Storage Company** in **London**, welche bis jetzt die grösste Verbreitung gefunden haben.

Jeder dieser Akkumulatoren besteht aus einer Anzahl positiver und negativer Platten; die gleichnamigen Pole sind untereinander leitend verbunden und von den ungleichnamigen, ebenfalls unter sich verbundenen, getrennt. Zwischen je zwei negativen befindet sich immer eine positive Platte, so dass die ungleichnamigen Platten isoliert und in gleichbleibender Entfernung von einander gehalten werden. Jede einzelne Platte besitzt eine als fester Kern dienende, siebartig durchlöcherte Bleiplatte,

deren Hohlräume bei den positiven Platten mit einem Brei aus Mennige und Schwefelsäure, bei den negativen Platten mit einem Brei aus Bleiglätte und Schwefelsäure ausgefüllt sind.

Die Platten werden in Gefässen aus Glas, Hartgummi oder Teak-Holz zu Zellen kombiniert.

In Fällen, wo die Akkumulatoren an demselben Orte stehen bleiben können und keinen Beschädigungen ausgesetzt sind, nimmt man gewöhnlich Glasgefässe, sollen sie dagegen transportiert werden, so sind mit Blei ausgekleidete und mit Deckeln versehene Holzkästen vorzuziehen. Die Isolierung der Platten untereinander geschieht durch Stückchen von vulkanisiertem Kautschuk, wovon mehrere an Stelle der Füllmasse durch die Bleigitter gesteckt werden. Sämtliche Platten einer Zelle sind durch zwei starke Kautschukbänder zu einem Ganzen verbunden.

Die elektromotorische Kraft einer Akkumulatorzelle beträgt circa 2 Volt.

Eine Art Platten wird für rasche Entladungen angefertigt und daher vielfach für **Kraftübertragung**, **Strassenbahnen, elektrische Boote** etc. und bei **Beleuchtungsanlagen, wo eine Anzahl von Lampen für kurze Zeit notwendig sind,** verwendet.

Eine andere Type findet wegen ihrer grossen Aufnahmefähigkeit hauptsächlich in **Beleuchtungs-Anlagen** Verwendung, um **mit** oder **ohne Dynamo-Maschine** für einen konstanten ruhigen Strom zu sorgen.

Der durchschnittliche **Wirkungsgrad** dieser Zellen soll bezüglich der Elektrizitätsmenge 85—90 % und

bezüglich der Energie 74 bis 80 % betragen. Man kann für 1 kg Gewicht der einen Type 6 bis 7 Ampère Strom entnehmen, während jene der anderen Type fast den doppelten Betrag gestatten. Die Gesellschaft giebt bei ordnungsmässiger Behandlung die Lebensdauer mit dem sehr hohen Werte von 3 bis 4 Jahren an, ohne indess eine Garantie dafür zu übernehmen.

Die besonderen Leistungen der einzelnen Sorten lassen sich leicht aus der folgenden Tabelle ersehen.

Akkumulatoren der Electrical Power Storage Company, London.

Zahl und Art der Platten.	Arbeit		Nutzb. Arbeit Stunden-Amp.	Aussenmasse der Kasten.						Gewicht der compl. Zellen.
				Glas			Teakholz			
	Ladung in Amp.	Entladg. in Amp.		Länge m/m	Breite m/m	Höhe m/m	Länge m/m	Breite m/m	Höhe m/m	kg
7 S	3- 5	bis 8	48	100	190	275	90	190	290	7,7
11 S	6-10	„ 13	78	130	190	275	120	190	290	11,3
15 S	8-12	„ 18	108	160	190	275	150	190	290	16,8
23 S	10-17	„ 25	150	215	190	275	210	200	290	25,4
31 S	15-23	„ 35	210	285	190	275	280	200	290	34,—
7 L	10-12	„ 13	130	140	280	330	120	300	380	32.—
11 L	15-20	„ 22	220	180	280	330	160	300	380	44,—
15 L	20-25	„ 30	330	215	280	330	200	300	380	55,—
23 L	32-37	„ 46	500	305	280	330	285	300	380	82,—
31 L	44-50	„ 60	660	390	280	330	390	300	380	107,—

Auch die Akkumulatoren von **Elwell Parker & Co., Wolverhampton,** haben in letzter Zeit in England eine grössere Verbreitung gefunden. Die Konstruktion derselben ist fast identisch mit derjenigen der Electrical Power Storage Company, nur verwenden Elwell Parker & Co. vielfach gusseiserne statt Glasgefässe und haben ihrem Fabrikat einige praktische Verbesserungen zur Verhütung von Kurzschlüssen etc. zu geben verstanden. Die Leistungen und der Preis beider Fabrikate sind gleich.

Die nach den Patenten der Electrical Power Storage Company und nach dem **System Julien** in der Fabrik von **J. L. Huber, Hamburg** hergestellten Akkumulatorplatten unterscheiden sich von den gewöhnlichen Platten dadurch, dass die die aktive Masse derselben tragenden Gitter nicht aus reinem Blei, sondern aus einer besonderen, nicht oxydierbaren Legierung hergestellt sind, so dass, wenn in Folge von Überanstrengung der Akkumulatoren die aktive Masse nach und nach herausfällt resp. herausgewaschen ist, die Gitter der Platten von Neuem mit aktiver Masse gefüllt und wieder in Benutzung genommen werden können. Die **Julien**'schen Akkumulatoren haben einen Wirkungsgrad von ca. 90 % Ampère-Stunden und ca. 85 % Volt-Ampère-Stunden.

Weiteren Aufschluss über diese Akkumulatoren giebt die folgende Tabelle:

Anzahl der Platten.	Arbeit		Nutzbare Arbeit	Aussenmasse der Kasten i. m/m ca.			Gewicht der kompletten Zelle
	Ladung in Amp.	Entladung in Amp.	Stunden-Ampère.	Tiefe	Breite	Höhe	in Kilo ca.
7 T.	3— 5	1— 7	40	160	70	230	6
11 T.	6—10	1—12	65	160	100	230	9
15 T.	8—12	1—17	90	160	125	230	12
23 T.	10—17	1—25	140	160	180	230	19
31 T.	15—23	1—35	195	160	240	230	26
45 T.	25—36	1—50	270	160	360	230	37
7 G.	7—9	1—12	130	280	130	350	25
11 G.	12—15	1—20	210	280	175	350	38
15 G.	18—21	1—28	300	280	220	350	52
23 G.	30—33	1—44	470	280	320	350	77
31 G.	40—45	1—60	640	280	420	350	100

Das Material der Kästen besteht entweder aus Glas oder Hartgummi.

Während die Platten der bisher besprochenen Akkumulatorentypen **vertikal** angeordnet sind, werden dieselben bei den Akkumulatoren von **de Khotinsky** horizontal gelegt, und zwar so, dass die positiven und negativen Platten nebeneinander liegen und vier solcher Plattenlagen übereinander gesetzt werden. Die Lage der Elektroden ist eine derartige, dass bei ordnungsmässiger Behandlung jede Gefahr für Kurzschluss ausgeschlossen erscheint. Da sie horizontal liegen, so kann auch ein Abblättern der Füllmasse, ein Biegen oder Werfen der Elektroden kaum stattfinden. Die Kästen sind aus Steingut, die Elektrodenträger aus Glas hergestellt. Die Fabrik übernimmt bestimmte Garantien über die Haltbarkeit ihrer Fabrikate; für die positiven Platten wird auf 2 Jahre garantiert, positive wie negative Platten werden zu einem bestimmten Satze erneuert. Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit der Akkumulatoren sind unseres Wissens noch nicht veröffentlicht. Nach uns zugegangenen Mitteilungen soll eine jede Zelle derselben augenblicklich ca. 300 Ampère-Stunden bei 2,1 Volt ergeben. Weitere Daten finden sich in der folgenden Tabelle.

Akkumulatoren von **de Khotinsky.**

Bezeichnung.	Arbeit während der Ladung und Entladung in Ampère.	Nutzbare Arbeit Stunden-Ampère.	Aussenmasse der Kasten Länge m/m	Breite m/m	Höhe m/m	Gewicht der ganzen Zellen kg
A 1	7,5	60	510	345	80	22
A 2	1.5	120	510	345	105	36
A 3	22,5	180	510	345	135	50
B 1	12,5	100	550	550	105	40
B 2	25	200	550	550	130	64
B 3	37,5	300	550	550	155	88
B 4	50	400	550	550	180	112
B 5	62,5	500	550	550	205	136
B 6	75	600	550	550	230	160
C 13	1.6	13	235	249	65	4
C 21	2,5	21	315	249	65	6
C 30	3,7	30	405	249	65	9

Die Eigentümlichkeit der Akkumulatoren nach dem **Farbaky-Schenek-System** besteht in einer besonderen Konstruktion des Gitters für das aktive Material. Dieselbe hat den Zweck, eine Ausdehnung der aktiven Masse zu gestatten, ohne dass der äussere Rahmen dadurch in Mitleidenschaft gezogen wird. Zu diesem Behufe treten an Stelle der sich unter einem rechten Winkel kreuzenden gradlinigen Gitterstäbe, wie sie Faure hat, kreisförmige, sich gegenseitig durchschneidende Bleigitter. Dabei werden nur die durch Aufeinanderfallen der Kreise entstehenden polygonalen Zellen mit aktiver Masse gefüllt, während die kleineren Lücken zwischen den sich durchschneidenden Kreisbogen leer bleiben. Bei dieser Anordnung soll sich die Volumenvergrösserung nur auf die kleinen leeren Zwischenräume äussern und

der Hauptrahmen keiner nennenswerten Gestaltsveränderung unterliegen.

Diese Bleigitter, wie sie jetzt in der Fabrik von **Getz & Odendall** in **Baumgarten** bei **Wien** hergestellt werden, sind 10 bis 12 mm dick, die Maschen 20 mm weit, der Querschnitt der Stäbe ist kreuzförmig. Die Füllmasse der positiven Platten besteht aus Mennige und Bleiglätte mit einem geringen Kokszusatz, die der negativen aus Bleiglätte mit etwas Bimstein. Zwischen je zwei Platten kommen mehrere paraffinierte Holzstäbe und ein Blatt nitrierten Papiers. Über sämtliche positive und sämtliche negative Zuleitungsstreifen der Platten wird je eine eiserne Gussform gebracht und diese mit Blei ausgegossen. Darauf stellt man die so verbundenen Platten in mit Blei ausgelegte Holzkisten auf paraffinierte Holzkeile und bedeckt das Ganze mit einem Deckel.

Die mit Kautschuk verkitteten Klemmenansätze reichen durch den Deckel hindurch. Schliesslich wird der ebenfalls mit Blei ausgelegte Holzdeckel ringsum mit der Bleikiste verlötet. Eine in der Mitte des Deckels befindliche grosse Öffnung dient zum Füllen und Nachsehen, ist aber gewöhnlich mit einem Bleideckel geschlossen.

Die im grossen Massstabe an diesen Akkumulatoren von Prof. **Dr. A. von Waltenhofen** vorgenommenen Untersuchungen haben äusserst günstige Resultate ergeben: dieselben zeigten beispielsweise einen Wirkungsgrad von über 91 % bezüglich der Ampère-Stunden und ca. 80 %

bezüglich der Volt-Ampère-Stunden bei einer Abnahme der Klemmenspannnung von kaum 8 % nach Entladung von 1000 Ampère-Stunden. Die Untersuchungen jenes berühmten Gelehrten sind um so wertvoller, als sie zugleich auch höchst interessante Vergleichspunkte mehrerer Akkumulatoren-Konstruktionen geben, und die gefundenen Resultate eingehend begründet werden. *)

Die Akkumulatoren werden von der genannten Fabrik in zwei Serien gebaut.

Serie I.

Elemente für kürzere Entladungsdauer.

Bezeichnung	Stromstärke in Amp.	Kapazität in Ampère-Stunden.	Aussenmasse der Kasten			Gewicht der Zelle
			Länge m/m	Breite m/m	Ganze Höhe m/m	kg
½×5× 6	3.00	21	170	75	215	3.65
5× 6	4.50	30	240	75	„	5.35
5× 9	7.00	45	„	95	„	6.68
5×12	9.00	60	„	115	„	8.00
5×15	11.00	75	„	135	„	9.60
5×18	13.50	90	„	155	„	11.20
5×21	16.00	105	„	170	„	12.82
5×24	18.00	120	„	185	„	14.45
5×27	20.00	135	„	199	„	15.80
5×30	22.50	150	„	213	„	17.15
5×33	25.00	165	„	227	„	18.50
5×36	27.00	180	„	248	„	20.55
5×39	29.00	195	„	270	„	22.60

*) Berichte und Bemerkungen über Akkumulatoren von Dr. A. v. Waltenhofen in Wien. Sep. aus d. Centralblatt für Elektrotechnik 1888 p. 158.

Serie II.

Elemente für längere Entladungsdauer.

Bezeichnung	Stromstärke in Amp.	Kapazität in Ampère-Stunden.	Aussenmasse der Kasten			Gewicht der Zelle
			Länge m/m	Breite m/m	Ganze Höhe m/m	kg
6X 12	9	72	280	154	330	17
6X 16	12	96	„	175	„	20
6X 20	15	120	„	196	„	23
6X 25	19	150	„	217	„	26
6X 30	23	180	„	238	„	29
6X 35	26	210	„	259	„	32
6X 40	30	240	„	280	„	36
6X 50	38	300	405	255	500	60
6X 60	45	360	„	280	„	66
6X 70	52	420	„	305	„	72
6X 80	60	480	„	330	„	80
6X 90	68	540	„	355	„	86
6X100	75	600	„	380	„	90
6X110	82	660	„	405	„	96
6X125	95	750	475	295/355	650	121
6X140	110	840	„	325/385	„	134
6X155	123	930	„	355/415	„	147
6X170	136	1020	„	385/445	„	160
6X185	150	1110	„	415/475	„	173
6X200	164	1200	„	445/505	„	186
6X220	177	1320	„	475/535	„	200

Die **Akkumulatoren des Tudor'schen Systemes,** deren Anfertigung die Firma **Büsche & Müller** zu **Hagen** in **Westfalen** übernommen hat, haben seit etwa Jahresfrist besonders Benutzung in Luxemburg und Belgien gefunden. Die Erfinder dieser Akkumulatoren sind **Henry Tudor** und **Hubert Tudor** in **Rosport.**

Über die Entstehung und Bauart dieser Apparate sind uns leider keine Mitteilungen zugegangen. Nach den Angaben der Firma werden dieselben in folgenden Typen hergestellt:

Nummer der Typen.	Maximal-Stromstärke		Garantierte Kapazität in Ampère-Stunden.	Aussenmaasse der Kasten.			Gewicht der Zelle.
	bei Ladung in Amp.	bei Entladung in Amp.		Länge m/m	Breite m/m	Höhe m/m	kg
I	7.50	8.25	50	120	210	300	16
Ia	10.—	12.—	40	120	210	300	16
II	10.—	11.—	88	170	210	300	26
IIa	15.—	18.—	60	170	210	300	26
III	20.—	24.—	80	200	210	300	30
IIIa	15.—	16.50	96	200	210	300	30
IIIb	12.50	13.75	110	200	210	300	32
IV	27.50	33.—	110	320	230	340	41
IVa	20.—	22.—	130	320	230	340	41
IVb	17.50	19.25	150	320	230	340	45
IVc	22.50	24.75	150	340	230	340	45
IVd	20.—	22.—	175	340	230	340	50
V	40.—	48.—	160	270	340	400	57
Va	27.—	33.—	190	270	340	400	57
Vb	22.50	27.50	220	270	340	400	59
VI	60.—	72.—	240	410	340	400	101
VIa	45.—	55.—	320	410	340	400	101
VIb	36.—	44.—	350	410	340	400	101
VII	75.—	90.—	300	350	380	460	113
VIIa	54.—	66.—	385	350	380	460	113
VIIb	40.—	56.—	460	350	380	460	118
VIII	110.—	135.—	450	480	380	460	158
VIIIa	80.—	110.—	550	480	380	460	158
VIIIb	68.—	80.—	650	480	380	460	160

Prof. **Kohlrausch** in **Hannover** hat mit Akkumulatoren dieses Systems, die bereits 6 Jahre lang unausgesetzt im täglichen Gebrauch funktioniert haben, eingehende Untersuchungen angestellt und auf Grund derselben sich folgendermassen geäussert:

„Die Akkumulatoren sind beim normalen Betriebe nur mässig beansprucht, geben dafür aber die ungewöhnlich hohen Werte von 94 % und 82.4 % für die Nutzeffekte in Ampère-Stunden und Arbeit trotz eingelegter Ruhepausen.

„Die Akkumulatoren sind den durch Fahrlässigkeit in der Behandlung und in der Aufsicht nicht selten verschuldeten Betriebsunregelmässigkeiten in hohem Grade gewachsen.

„Wird durch solche Unregelmässigkeiten die Kapazität der Akkumulatoren (Entladungswert) herabgedrückt, so können die Akkumalatoren durch Überladen leicht und rasch wieder auf die alte Kapazität gebracht werden.

„Die Akkumulatoren lassen in keiner Weise den Schluss zu, dass der sechsjährige Betrieb, den dieselben bereits hinter sich haben, ihnen geschadet oder ihre Haltbarkeit beeinträchtigt hat. Es ist auch jetzt noch eine fernere grosse Lebensdauer derselben wahrscheinlich.

„Die Akkumulatoren sind daher für Beleuchtungsanlagen sehr zu empfehlen und in Bezug auf Nutzeffekt, Lebensdauer und Widerstandsfähigkeit gegen Unregelmässigkeiten im Betriebe meines Wissens unübertroffen.“

Versuche mit den **Brush-Akkumulatoren** wurden von **Higgins** im technologischen Institute zu Boston angestellt. Dieselben sind nach den Faure'schen Patenten konstruiert, welche die Brush-Compagnie erworben hat. In der Praxis werden diese Akkumulatoren im Leitungsnetze für Bogenlampen zur Speisung der miteingeschalteten Glühlampen benutzt, wobei die normale Stromstärke etwa 20 Ampère beträgt.

Auch die **Akkumulatoren** von **Reckenzaun** sind neuerdings von **Waltenhofen** untersucht worden und

haben günstige Resultate ergeben. In konstruktiver Hinsicht besitzen diese Akkumulatoren wie die Tudor'schen besondere noch geheim gehaltene Eigentümlichkeiten.

Die **Anwendungen** der Akkumulatoren **in der Praxis** sind so mannichfaltig, dass uns der Raum mangeln würde, wollten wir alle einer Besprechung widmen, wir begnügen uns daher mit der Aufzählung der hier in Frage kommenden Anwendungen.

In kleinen wie ausgedehnten Beleuchtungsanlagen bieten sie den ausserordentlichen Vorteil einer stets dienstbereiten Elektrizitätsquelle. Wie häufig treten Fälle ein, dass man in den Geschäftsräumen einer Fabrik, in Wohnzimmern oder anderen Orten in einer Zeit elektrisches Licht zu gebrauchen wünscht, zu welcher die Betriebsmaschinen nicht mehr im Gange sind. Wie unbequem und unwirtschaftlich erscheint es, wegen weniger Lampen, die man vielleicht einige Stunden über die gewöhnliche Arbeitszeit hinaus oder die ganze Nacht hindurch brennen lassen müsste, unausgesetzt die Betriebsmaschine und die Dynamomaschine laufen zu lassen.

Alle diese Übelstände lassen sich beseitigen, wenn die Beleuchtungsanlage durch eine dem Bedarf entsprechende Batterie von Akkumulatoren vervollständigt wird. Erst eine derartige Einrichtung lässt die vielen Annehmlichkeiten des elektrischen Lichtes, seine Vorteile für Gesundheit und Feuersicherheit zur vollen Geltung kommen. Ein mit wertvollen Kunstschätzen und sonstigem Luxus ausgestattetes Haus bietet, wie wir

in Berlin die Überzeugung gewonnen, erst dann das wahre Behagen, wenn man überall da, wo man gelegentlich Licht bedarf, Glühlampen durch Drehung eines Ausschalters mit einer Akkumulatorenbatterie in Verbindung setzen und zum Leuchten bringen kann. Die Akkumulatoren liefern ein vollkommen ruhiges Licht, die Betriebsmaschinen stören, sobald die Batterie geladen ist, nicht durch ihr oft für Privathäuser unangenehmes Geräusch und der ganze Betrieb ist von den zahlreichen Zufälligkeiten jedes Maschinenbetriebes unabhängig.

Von besonders grossem Vorteil ist es für eine grössere Beleuchtungsanlage, dass die Akkumulatoren stets dienstbereit zur Aushilfe dastehen, wenn in der Beleuchtung durch die Betriebsmaschine und Dynamomaschine eine Störung eintritt. Die Benutzung der Akkumulatoren giebt die Garantie, dass die zu erleuchtenden Räume nie des Lichtes entbehren.

Dieser Gesichtspunkt fällt besonders schwer ins Gewicht, wenn es sich um die elektrische Beleuchtung von Theatern handelt. Nur wer das komplizierte Beleuchtungssystem eines Theaters kennt, wird begreifen, wie vielen Zufälligkeiten und Störungen dasselbe selbst bei guter und sorgfältiger Wartung ausgesetzt sein kann. Es muss daher lobend anerkannt werden, dass fast alle Theater, die bisher mit elektrischem Licht versehen wurden, mit Rücksicht auf diesen Gesichtspunkt zur Reservebeleuchtung eine Akkumulatorenbatterie erhalten haben. Nur auf diese Weise ist eine absolute Sicher-

heit für das Leben des Publikums denkbar. Vielleicht nicht ganz mit Unrecht könnte man eine derartige grössere Beleuchtungsanlage, welche ein absolut sicheres Funktionieren erheischt, ohne Akkumulatoren mit einer Gasfabrik ohne Gasbehälter vergleichen.

Ein weiterer Vorteil der Akkumulatoren in ihrer Anwendung besteht darin, dass sie eine beträchtliche Ausdehnung der Beleuchtungsanlagen und bessere Ausnutzung der Betriebskraft gestatten. So können z. B. die Akkumulatoren am Tage geladen werden und am Abend kann dann sowohl die elektrische Maschine wie auch die Akkumulatorenbatterie zum Betriebe der erforderlichen Lampen benutzt werden.

Dass in dieser Richtung die elektrischen Akkumulatoren zur Vervollständigung der elektrischen Zentralstationen eine grosse Rolle spielen, bedarf nach dem Vorhergehenden keiner weiteren Begründung. Denn mit diesem Hilfsmittel sind die Zentralstationen nicht nur in den Stand gesetzt, auch dann Strom zu liefern, wenn die Maschinen in später Nachtstunde nicht mehr in Thätigkeit sind, sondern auch am Tage die kostspielige Anlage zu beschäftigen und dann Abends eine grössere Anzahl von Abnehmern mit Strom zu versorgen, als dies durch die elektrischen Maschinen allein möglich ist.

Erst bei Benutzung von Akkumulatoren werden wir im Stande sein, Verteilungszentren für elektrische Energie herzustellen, welche nach Analogie der Gasanstalten für

Gas allen Anforderungen der Konsumenten auf Lieferung der elektrischen Energie entsprechen können.

Diesen Vorteil zuerst bei uns in Deutschland praktisch für eine Zentralstation verwertet zu haben, ist ein Verdienst, welches die **städtische frankfurter Gasgesellschaft** für sich in Anspruch nehmen darf. Es kann hierin diese Gesellschaft der Mehrzahl ihresgleichen als Vorbild hingestellt werden; sie versteht es, den unausbleiblichen Übergang vom Gas zum elektrischen Lichte mit ihren Interessen in Einklang zu bringen. Wir haben selten eine so sorgfältig und gewissenhaft ausgeführte Anlage wie diese gesehen. Die frankfurter Gasgesellschaft berichtet selbst über dieselbe wie folgt:

„Die Anlage wurde vollständig ausgeführt durch die **Electricitäts-Maatschappy,** System **de Khotinsky**, in **Rotterdam**, unter Verwendung ihrer in Deutschland patentierten Akkumulatoren und Apparate. Da genannte Gesellschaft Garantieleistung übernommen, stellte sie die Bedingung, nur solche Maschinen und Apparate aufzustellen, die sie durch eigene Erfahrung kennen gelernt und als gut befunden hat. Dies ist der Grund, warum bei unserer Anlage meist ausländisches, namentlich englisches Material verwendet ist.

„Wir beleuchten mit elektrischem Licht, und zwar mit Glühlicht, vorläufig das Maschinenhaus, unsere Bureauräume, eine Wohnung, zwei Kaufläden und das Lesezimmer eines Gesellschaftshauses; mit Bogenlicht unseren Hof.

„Im Winter kommt dazu mit Glühlicht: ein Kaufladen und einige Räume des Gesellschaftshauses, mit Bogenlicht ein grosser Geschäftssaal.

„Die Glühlampen, System de Khotinsky, haben 0.65 Ampère und 75 Volt, die Bogenlampen, von Schuckert in Nürnberg, 6 Ampère und 53 Volt.

„Als Betriebsmaschine dient eine Lokomobile aus der Fabrik von Davey, Paxmann & Co. in Colchester, England, die Dynamomaschine stammt aus der Fabrik von Mather & Platt, Salford Iron Works in England.

„In einem Raum, etwa 30 m von dem Maschinenhause entfernt, sind die Akkumulatoren, System de Khotinsky aufgestellt. Sie bestehen aus flachen Holzkästen von 52 cm Länge, 52 cm Breite und 7 cm Höhe. Das Innere der Kasten ist mit Blei ausgelegt, auf welchem horizontal die negativen Elektroden angebracht sind. Hierüber aut senkrecht zu den Zinken der Elektroden gelegten Holzstäben ruhen die positiven Elektroden ebenfalls horizontal. Der Kasten wird bis etwa 1 cm über die Elektroden mit verdünnter Schwefelsäure von 1,16 spec. Gewicht gefüllt.

„Für die Glühlichtbeleuchtung sind 260 Akkumulatoren aufgestellt, von denen je 5 parallel und 52 hintereinander geschaltet wurden, für die Bogenlichtbeleuchtung deren 156, von denen je 4 parallel und 39 hintereinander geschaltet sind, so dass die Gesamtzahl 416 Akkumulatoren beträgt.

„Die ganze Einrichtung ist so angeordnet, dass man

1) am Tage laden und Abends nur aus den Akkumulatoren beleuchten kann;

2) dass man direkt mit der Dynamomaschine beleuchten, dieselbe während der Beleuchtung abstellen und ohne jede Störung nur aus den Akkumulatoren fortbeleuchten kann.

„Weiter kann man den Strom aus den Akkumulatoren für die Glühlampen in das Kabel für die Bogenlampen leiten und umgekehrt. Bemerkt sei hier, dass für Glühlicht und Bogenlichtbeleuchtung je ein besonderes Kabel gelegt ist.“

Auf die **besonderen Systeme**, nach denen die Verteilung der Elektrizität mit Hilfe von Akkumulatoren in Zentralen zu erfolgen hat, sowie auf den **Bau** und den **Betrieb** derartig eingerichteter Zentralen werden wir in den folgenden Abschnitten noch näher einzugehen haben.

III.

Die Verteilungs-Systeme.

Die Wahl des Systemes, nach dem die Verteilung der Elektrizität durch Gleichstrom von einer Zentralstation aus zu geschehen hat, bedarf in jedem besonderen Falle einer reiflichen Prüfung und Überlegung, da eine grosse Anzahl von Faktoren hierbei Berücksichtigung finden müssen. Denselben wird im siebenten Kapitel eine eingehende Betrachtung gewidmet werden. Wir teilen hier nur die Eigenart, die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Systeme mit. Ebenso verweisen wir die sich unwillkürlich uns aufdrängenden Vergleiche der Verteilungssysteme durch Gleichstrom mit denen durch Wechselstrom[1]) in dasselbe Kapitel.

Die Verteilung der durch Gleichstrom-Maschinen erzeugten Elektrizität kann entweder **direkt** durch

I. Reihenschaltung,
II. Parallelschaltung,
III. Gemischte Schaltung,
a. Reihenschaltung von Gruppen,
b. Gruppenschaltung von Reihen, und
IV. das Drei- und Mehrleiter-System

oder auch auf **indirektem** Wege durch

---

1) Über die Verteilungssysteme durch Wechselstrommaschinen und Transformatoren siehe Band I., Kap. III.

I. Akkumulatoren oder

II. Gleichstrom-Transformatoren

geschehen.

A: Die direkten Verteilungssysteme.

I. Die Reihen- oder Hintereinanderschaltung

Fig. 33 stellt ein Diagramm dieses Systemes dar.

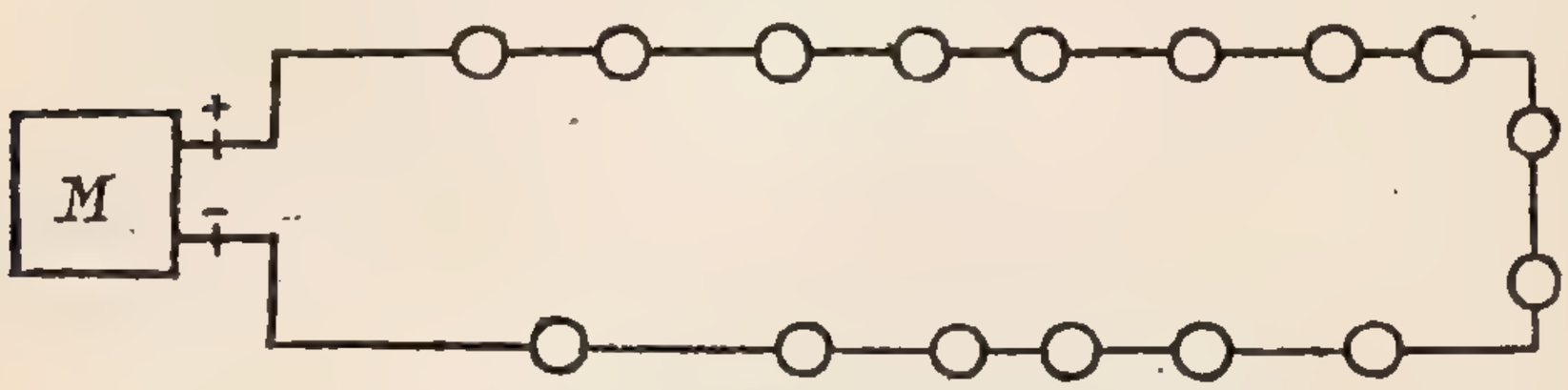


Fig. 33.

In demselben befinden sich sämtliche Verbrauchsstellen in einem durchgehenden Stromkreise hintereinander verbunden, so dass der Strom also von der Maschine kommend der Reihe nach durch sämtliche Verbrauchsstellen und dann zur Maschine zurück läuft. Die Stromstärke bleibt hierbei im ganzen Leitungskreis dieselbe. Je mehr Verbrauchsstellen, oder mit anderen Worten, je mehr Widerstand in die Leitung eingeschaltet wird, um so mehr Spannung wird man, falls man die für die Verbrauchsapparate nötige Stromstärke erhalten will, an den Maschinenpolen aufwenden müssen. Nun hängt der Querschnitt einer Leitung aber nicht von der Höhe der Spannung, sondern von der Grösse der Stromstärke ab. Man wird also bei diesem System nur Leitungen geringen Querschnittes bedürfen, da man zum Funktionieren der einzelnen Verbrauchsapparate verhältnismässig geringe

Stromstärken nötig hat. Es dürfen dabei jedoch nur solche Verbrauchsapparate eingeschaltet werden, welche mit gleichen Stromstärken betrieben werden können, da die Stromstärke im ganzen Kreise konstant und eine Funktion der Maschinenspannung und des Widerstandes des Gesamtkreises ist. Die Reihenschaltung ist also, was den Kostenpunkt anbelangt, entschieden sparsam und ökonomisch, sie hat aber den Nachteil, dass, wenn in irgend einem der eingeschalteten Apparate eine Unterbrechung eintritt, sofort der Strom auf der ganzen Strecke unterbrochen ist, also alle eingeschalteten Apparate ihre Funktion einstellen.

Diesen Nachteil ist man schon seit längerer Zeit bemüht, durch mechanische Kurzschlussvorrichtungen oder Umschaltevorrichtungen an den betreffenden Apparaten zu beseitigen, derart, dass bei einer Stromunterbrechung in einem Apparate statt desselben ein entsprechender Widerstand eingeschaltet wird.

Derartige Schaltungen wurden bis jetzt namentlich bei Bogenlampen angewandt. Die Maschinen besitzen dann oft ungeheure Spannungen; z. B. stellt die **Brush Gesellschaft** in **Ohio** U. S. A. Bogenlichtanlagen her bis zu 96 hintereinander geschalteten Lampen, was eine Gesamtspannung an den Klemmen von ca. 4800 Volt bedingt, da für jede Bogenlampe ca. 50 Volt beansprucht werden, dafür ist aber auch nur der Leitungsquerschnitt für 10 Ampère zu berechnen. Eine grössere Zentralanlage nach diesem System bestand bis vor kurzer Zeit

in **Temesvar**, wo die Stadtbeleuchtung durch hintereinander geschaltete Bogen- und Glühlampen besorgt wurde. Jetzt soll jedoch diese Schaltungsweise verändert worden sein.

In dem System von **Bernstein-Houston** werden gegenwärtig Bogen- und Glühlampen von gleichem Stromverbrauche hintereinander geschaltet (Fig. 34.); die Fassung jeder einzelnen Glühlampe besitzt eine eigenartige und originelle Kurzschlussvorrichtung: Die beiden Zuleitungen sind in der Fassung an einer Stelle einander sehr nahe gebracht und liegen federnd gegeneinander, nur durch ein sehr dünnes mit Paraffin getränktes Papier von einander getrennt. Springt nun der Kohlenfaden einer Glühlampe plötzlich, so entsteht durch die plötzliche Stromunterbrechung eine derart kräftige Selbstinduktion, dass das dünne Papier durchschlagen und der Stromschluss infolgedessen wieder hergestellt wird.

Eine andere Kurzschlussvorrichtung hat **Bernstein** neuerdings für seine Lampen angegeben. Dieselbe besteht in der Reduktion von einer Mischung aus Quecksilberoxyd und Kohlenpulver. Diese Mischung wird in geeigneter Form als Widerstand in den Nebenschluss der betreffenden Lampe geschaltet. Der Widerstand beträgt ca. 40 Ohm. Bricht nun die Lampe, so geht, wohl auch durch die Selbstinduktion veranlasst, ein starker Strom plötzlich durch diesen Widerstand. Das Quecksilberoxyd wird zu metallischem Quecksilber reduziert und die leitende metallische Verbindung ist hergestellt.

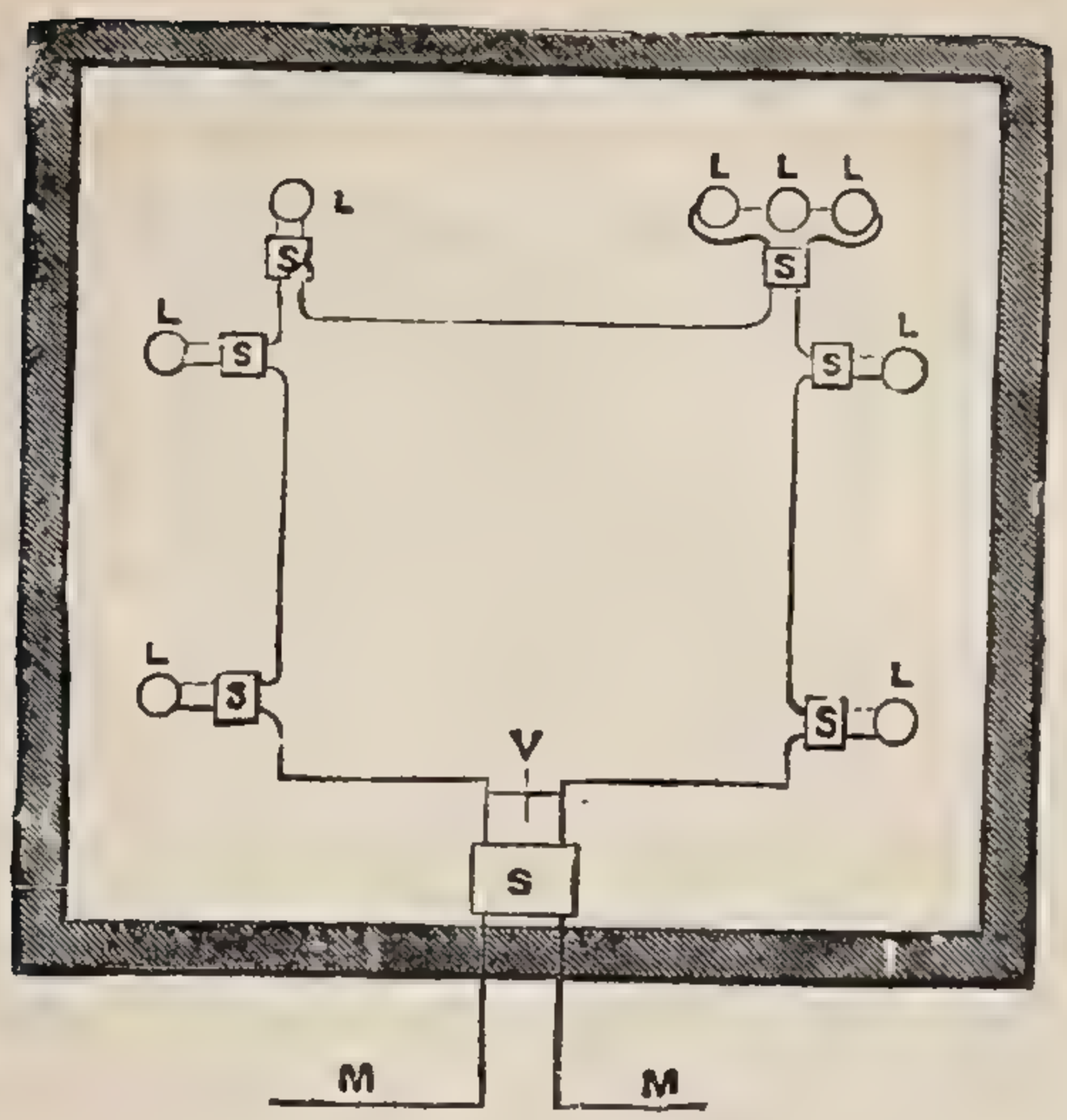


Fig. 34.

II. Die Parallelschaltung.

Wie Figur 35 zeigt, durchlaufen bei dieser Schaltung zwei Hauptdrähte die ganze Anlage und entsenden an geeigneten Stellen Abzweigungen.

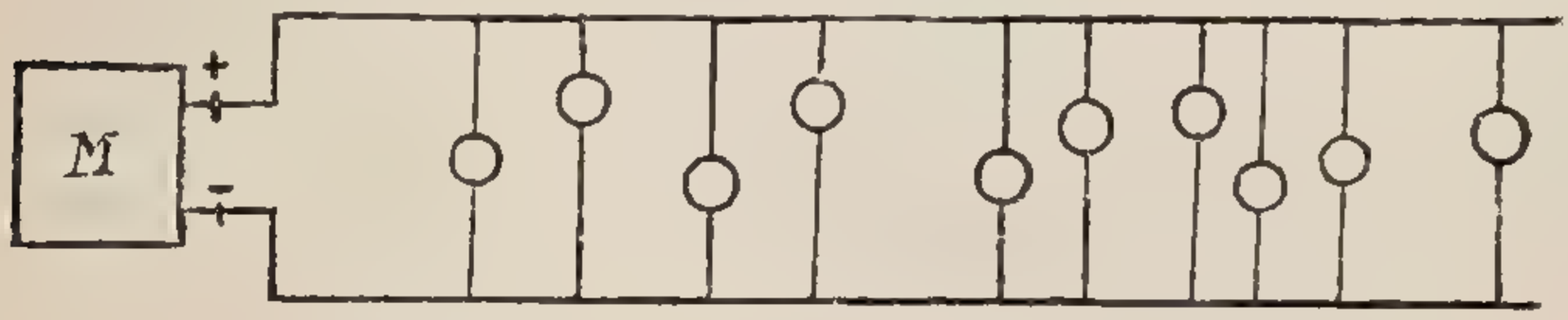


Fig. 35.

Mit der Zunahme dieser Abzweigungen, in welche die Verbrauchsapparate eingeschaltet werden, wird der Totalwiderstand der Anlage verringert, die Stromstärke dementsprechend, eine konstante Maschinenspannung vorausgesetzt, aber vergrössert. Die Leitung ist also für

einen Maximalstrom zu berechnen, der der Summe der von den einzelnen Verbrauchsapparaten verbrauchten Ströme gleichkommt. Man sieht, dass, während man bei der Hintereinanderschaltung für die Leitungsquerschnitte nur die einfache Stromstärke eines Verbrauchapparates in Rechnung zu ziehen hatte und die Verbrauchsapparate also alle genau gleiche Stromstärke konsumieren mussten, in dem vorliegenden Falle die Leitungsquerschnitte erheblich stärker werden und zwar um das n fache bei n Verbrauchsapparaten. Der Vorzug dieses Systems besteht aber darin, dass jeder Apparat vom andern unabhängig ist und jeder eine beliebige Stromstärke konsumieren kann. Die reine Parallelschaltung wird indessen stets das kostspieligste System sein, es wird stets die meisten Anlagekosten verursachen, umsomehr, als die Führungsweise der Leitungen auch eine grössere Länge derselben bedingt.

Auf dem Wege, den der Strom in den beiden Hauptdrähten zurücklegt, entsteht nun ein gewisser Spannungsverlust, der durch den Widerstand der Drähte und die Stärke des Stromes bedingt wird. Diejenigen Verbrauchsapparate, welche der Zentralstation am entferntesten liegen, werden daher eine geringere Spannung besitzen als die, welche räumlich von derselben nicht weit entfernt sind. Die Folge davon wird sein, dass beispielsweise Bogenlampen oder Glühlampen in Folge der geringeren Spannung weniger gut funktionieren. Um diesen Nachteil zu beseitigen, führt man, wie Fig. 36

auch veranschaulichen soll, von der Stromquelle die eine Leitung ohne Abzweigung durch die ganze Anlage hindurch und sich selbst parallel zurück. Bei dieser Aus-

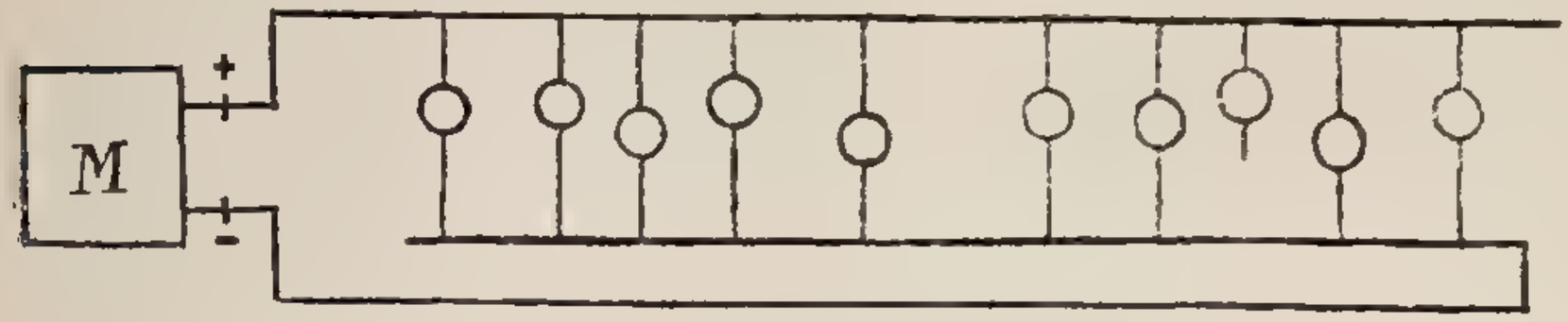


Fig. 36.

führungsweise erhält man für die einzelnen Verbrauchsstellen mit grösserer Genauigkeit eine gleiche Spannung, aber die Anlage wird vollständig unnötig verteuert. Viel besser wird man den beabsichtigten Zweck erreichen, wenn man den Querschnitt dieser Leitung einfach um den Betrag des Querschnittes der Rückleitung vergrössert.

In Wirklichkeit legt man nun die Abzweigungen nicht willkürlich überall, wo Verbrauchsstellen sind zwischen die Hauptleitungen, sondern man trachtet darnach, möglichst viel Verbrauchsapparate immer nur von einer Stelle abzuzweigen; man sucht an der Hand eines Planes, in welchen die Verbrauchsapparate dem Ort und der Zahl nach eingezeichnet sind, dieselben in Gruppen zusammenzufassen und schliesst dann je eine solche Gruppe an eine Stelle der Hauptleitung an. Einen solchen Anschlusspunkt nennt man dann einen Hauptverteilungspunkt. Eine Zentrale kann deren sehr viele besitzen, doch ist es zweckmässig, nie zwei Hauptverteilungspunkte in eine Leitung legen, sondern stets von

jedem Hauptverteilungspunkt eine Hauptleitung nach der Station zurück zu führen (Fig. 37).

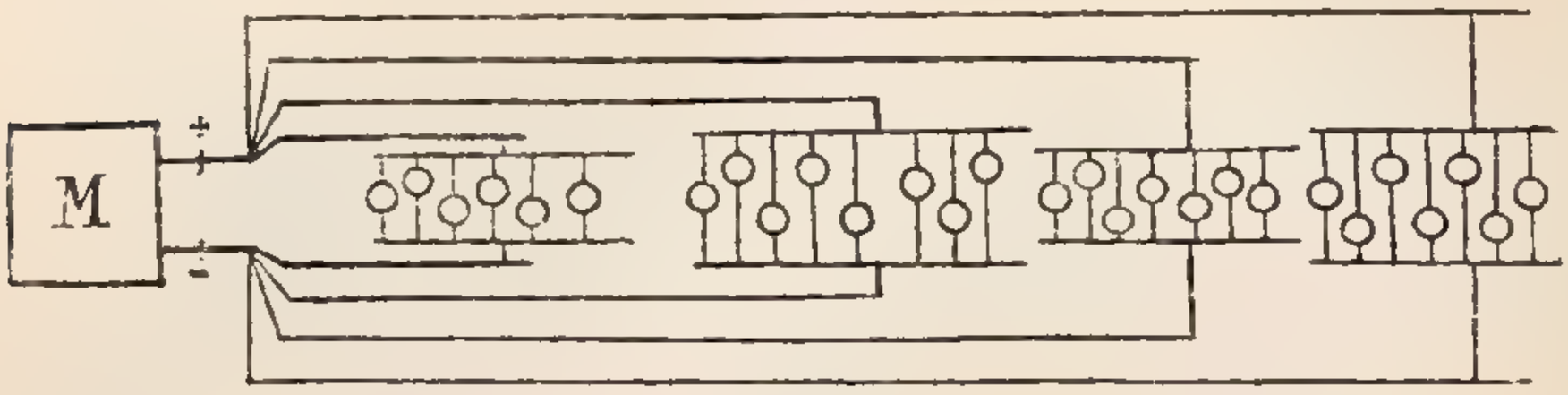


Fig. 37.

III. Gemischte Schaltung.

Um die Vorteile der beiden bisher besprochenen Schaltungen zu geniessen, die Nachteile derselben aber nach Möglichkeit zu vermeiden, hat man beide Systeme kombiniert. Diese Kombination ist auf zweierlei Weise möglich. Die eine bildet die Reihenschaltung von Gruppen, die andere die Gruppenschaltung von Reihen. Der Hauptvorteil beider ist, dass man mit höherer Spannung arbeiten und dass infolgedessen der Querschnitt der Leitungen entsprechend verringert werden kann

a) die Reihenschaltung von Gruppen.

Dieses System ist in Fig. 38. schematisch dargestellt.

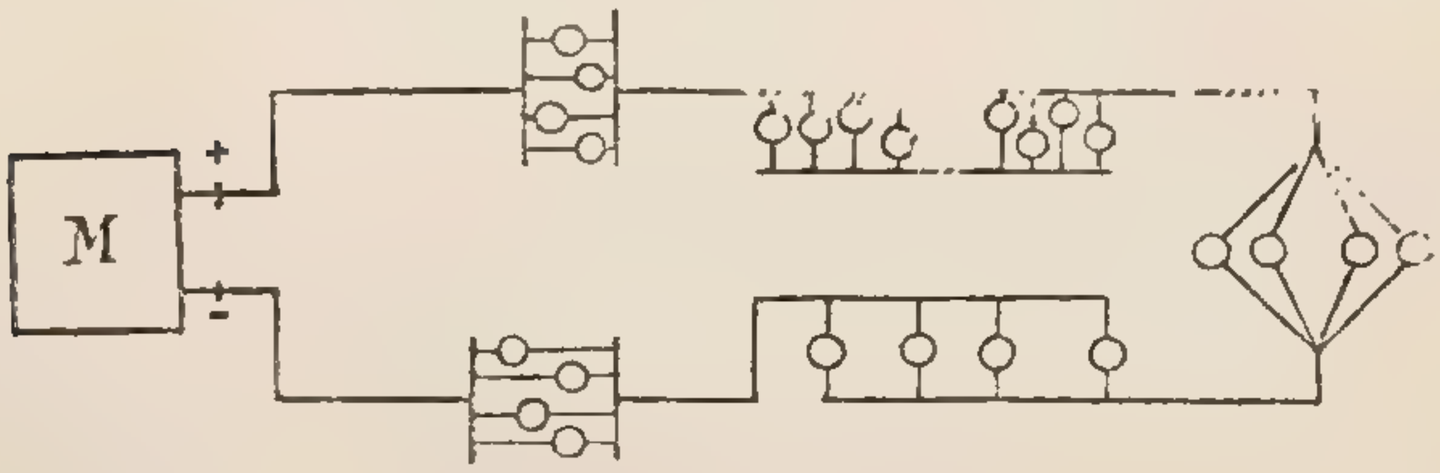


Fig. 38.

Mehrere Verbrauchsapparate werden immer in gleicher Anzahl parallel verbunden und so entstandene Gruppen hintereinander geschaltet. Überall im Hauptstromkreise herrscht eine gleiche Stromstärke. Jeder einzelne der Verbrauchsapparate bekommt einen im Verhältnis zu seinem Widerstande stehenden Teil dieses Gesamtstromes.

Verlöscht in einer Gruppe eine oder mehrere Lampen, so erhalten die übrigen einen zu starken Strom. Es ist daher jede Lampe mit einer selbstthätigen Umschaltevorrichtung zu versehen, welche im gegebenen Falle einen Widerstand oder sonstigen Ersatz einschaltet.

Eine ähnliche Anordnung der Schaltung wird neuerdings von **R. Alioth & Cie.** in **Basel** ausgeführt, welcher die ganze Lampenzahl in einzelne Parallelgruppen teilt und diese hintereinanderschaltet.

Es wurde dies Verteilungssystem speziell ausgearbeitet für Verhältnisse, wie sie in der Schweiz oft vorkommen; es tritt hier häufig die Aufgabe nahe, mit einer entfernten Wasserkraft, zuweilen mehrere Kilometer, eine Ortschaft oder einen grösseren Fabrikkomplex zu beleuchten, wobei mehr Gewicht auf geringe Kosten, als besonders grossen Nutzeffekt gelegt wird; immerhin ist letzterer stets ein massgebender Faktor.

Für solche Fälle also, wo der Zentralpunkt der Stromerzeugung weit von dem zu beleuchtenden Rayon entfernt ist, und ferner für diejenigen Fälle, wo man diesem zu beleuchtenden Rayon eine möglichst grosse

Ausdehnung geben will, wenden sie das nachfolgend beschriebene Schaltsystem an.

Der zu beleuchtende Rayon wird in eine, je nach den Umständen zu ermessende Anzahl von Bezirken mit ungefähr gleichem Stromkonsum eingeteilt und es werden, bei grösseren Verhältnissen, in diesen Bezirken vollständige auf möglichen Druckausgleich berechnete Leitungsnetze angelegt, in welchen alle Glühlampen (gängige Lampensysteme) einzeln und die Bogenlampen einzeln oder paarweise parallel geschaltet werden und wobei alle Lampen bezügl. Einschaltung in den Strom oder Ausschaltung so vollständig unabhängig von einander gestellt sind, wie in einem reinen Parallelschaltungssystem. Diese Netze der einzelnen Bezirke werden in Hintereinanderschaltung verbunden (Fig. 39). Nur in kleinen Verhältnissen werden die Lampen direkt in die Hauptleitung eingeschaltet, wie dies zuweilen auch anderwärts gemacht worden ist (Schema Fig. 40). Nun ist aber selbstverständlich, dass bei dieser Schaltung ohne Zuhilfenahme weiterer Mittel die einzelnen Gruppen von einander abhängig wären und störend aufeinander einwirken müssten, sobald nicht in allen derselben die gleiche Lampenzahl brennt. Es würde dann jede Gruppe mit kleinerer eingeschalteter Lampenzahl einen grösseren Widerstand als die übrigen bieten und da dieselbe Stromstärke alle Gruppen passieren muss, würde sich die Spannung ihrer Anschlusskabel an die Hauptleitung vergrössern, während sich dieselbe in anderen Gruppen

verringern müsste; die Folge wäre also ein ungleiches Brennen der Lampen verschiedener Bezirke. Diesem

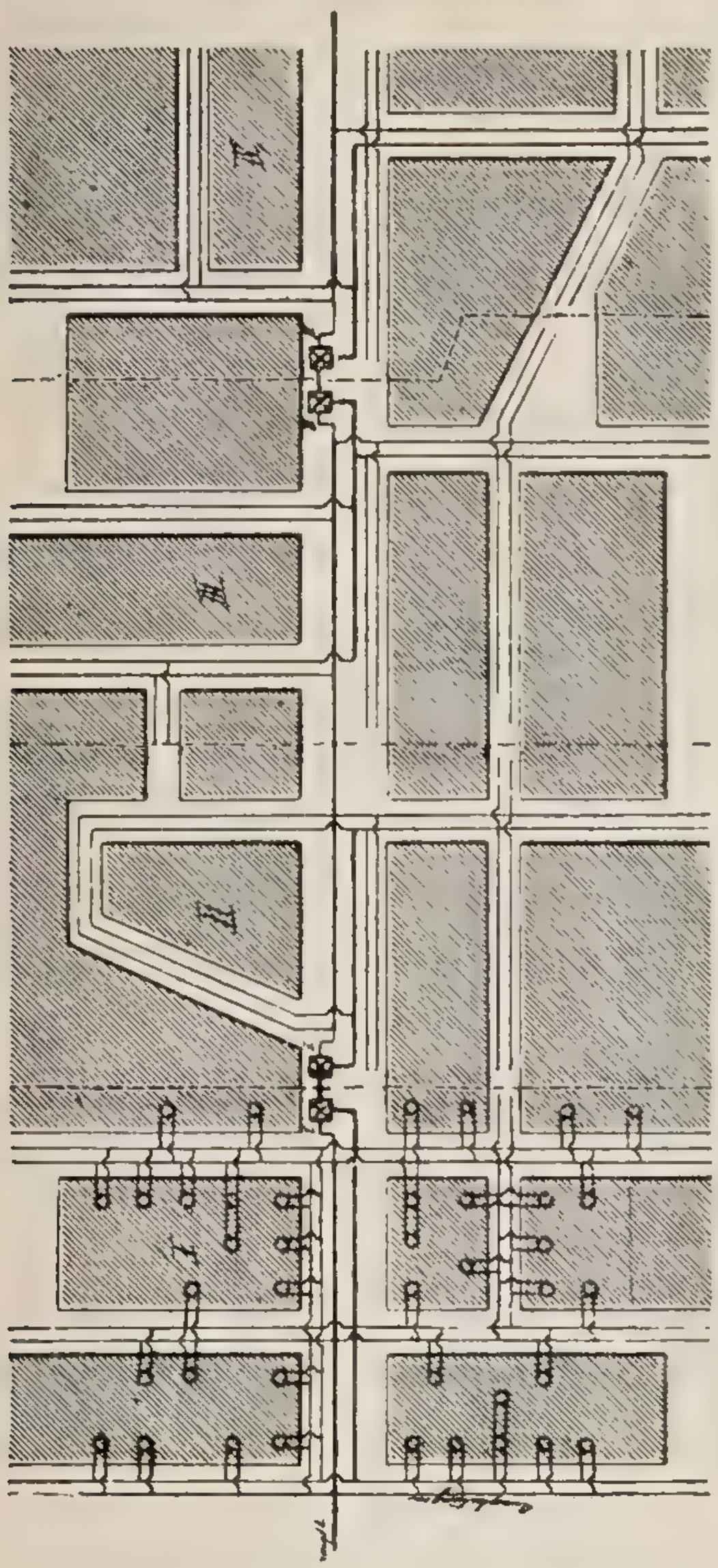


Fig. 40.

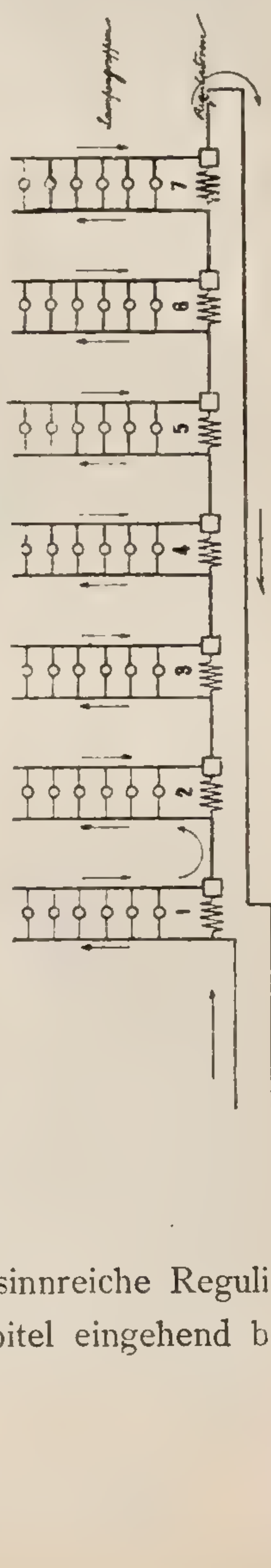


Fig. 33.

Übelstande wird durch eine äusserst sinnreiche Regulierungsweise, die wir im nächsten Kapitel eingehend besprechen werden, abgeholfen.

b) Die Gruppenschaltung von Reihen.

In diesem System herrscht zwischen allen Punkten der beiden Hauptleitungen dieselbe Spannungsdifferenz. Die in einer Serie dazwischen geschalteten Verbrauchsapparate müssen alle den gleichen Strom konsumieren und die Summe der von jedem einzelnen verlangten Klemmenspannung muss gleich der Spannungsdifferenz der Hauptleitungen sein.

Diese Parallelschaltung von Reihen benutzen **Bernstein** und **Edison** für Glühlampenbetrieb bei grossen Entfernungen.

Einer der Hauptvorzüge dieses Systemes besteht in dem verhältnismässig geringem Kapitalaufwande für das Leitungsmaterial, da es sich in demselben nie um besonders starke Ströme, sondern um verhältnismässig höhere Spannung als bei den übrigen Systemen handelt.

Die vielfach geäusserten Bedenken betreffs hoher Spannungen dürften in unserer Zeit hinfällig geworden sein. Immer wieder hört man allerdings von den Lobrednern der Systeme niedrigerer Spannung die Gefahren hoher Spannungen wie wahre Schreckgespenster vorführen, doch sicherlich für die Zukunft ohne Erfolg. Ihre Gründe sind, wie wir auch im 1. Bande unserer Arbeit genügend nachgewiesen, nur Scheingründe. —

Hat man nun zwischen den beiden zuletzt besprochenen Systemen zu wählen, so wird man, was die allgemeine Anwendbarkeit betrifft, die Gruppenschaltung von Reihen vorziehen, da im letzteren Falle bei Verwendung von

Maschinen mit konstanter Klemmenspannung einzelne Gruppen ausgeschaltet werden können, ohne andere zu beeinflussen, während bei dem ersten System Maschinen mit konstanter Stromstärke Anwendung finden müssten, deren Bau jedenfalls unökonomisch ist.

Dagegen haftet diesen beiden Systemen der Übelstand an, dass beim Verlöschen einer einzigen Lampe stets die andere mit um so grösserer Helligkeit brennt, wenn man nicht dafür Sorge trägt, dass sich automatisch sofort ein entsprechender Widerstand einschaltet. Es muss daher jede Lampe einen selbstthätigen Umschalter haben, was wieder einen gewissen Aufwand von Kapital beansprucht und die Anlagekosten nicht unerheblich erhöht.

IV. Dreileitersystem.

Das Dreileitersystem kann als eine Vereinigung von zwei nebeneinander liegenden einfachen Parallelschaltungen (Fig. 41) aufgefasst werden, welche jedoch eine Leitung

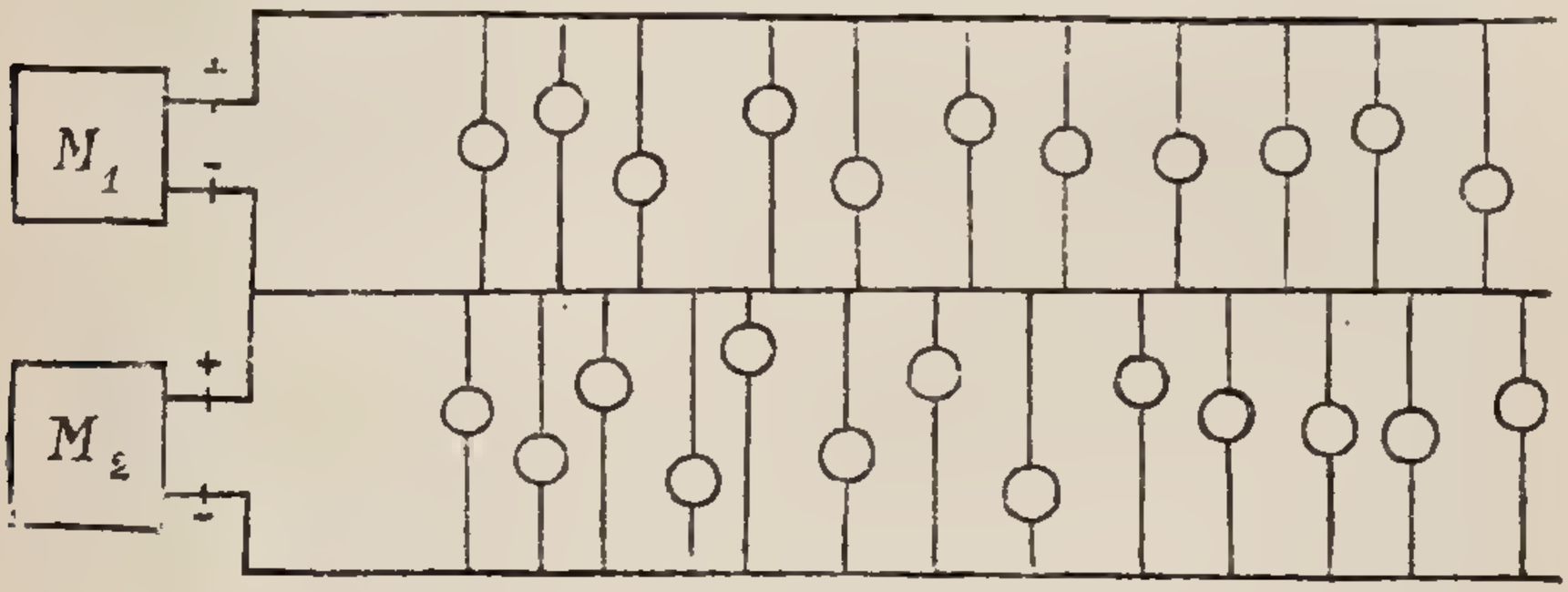


Fig. 41.

gemein haben und von zwei Maschinen gespeist werden. Die beiden Maschinen werden durch einen kurzen dicken

Draht, von welchem die gemeinschaftliche Leitung, die man Ausgleichsleitung nennt, ausgeht, hintereinandergeschaltet. Die beigefügte Figur giebt ein Schema dieser Anordnung. Dasselbe ist in Deutschland dem Ingenieur **Hopkinson** patentiert.

Den Hauptvorteil dieses Systemes bildet eine bedeutende Ersparnis an Leitungsmaterial. Die Ersparnis an Anlagekosten für die Leitung dürfte sich gegenüber der einfachen Parallelschaltung auf 35 % stellen. Die Verteilung in die beiden Hälften der Anlage muss so ausgeführt werden, dass zu allen Zeiten in beiden Hälften gleich viel Strom gebraucht wird. Dieses System hat in Deutschland bereits vielfach Anwendung gefunden, beispielsweise in Elberfeld und Mühlhausen, ebenso soll es in Darmstadt angewendet werden. Auch ausserhalb Deutschland, wie in Lyon, Genf und vielen Städten Amerikas ist dasselbe benutzt. Sichere und bestimmte Erfahrungen über dieses System sind indes noch wenig bekannt geworden.

Nicht unerwähnt wollen wir lassen, dass auch statt drei noch mehr Leiter benutzt werden können; so zeigt Fig. 42 das Schema eines Sechsleitersystemes. Mit der Zahl der Ausgleichsleitungen nimmt auch die Ersparnis der Anlagekosten für die Leitungen zu. Beispielsweise beträgt dieselbe bei einem Siebenleitersystem 43%, bei einem Zehnleitersystem 45%. —

B. Die **indirekten Verteilungssysteme.**

Eine indirekte Verteilung der Elektrizität von Zentralstationen aus kann durch Akkumulatoren oder

Transformatoren erfolgen. Eine solche durch letztere haben wir in ihren verschiedenen Modifikationen bereits im ersten Bande des Näheren auseinandergesetzt. Für eine

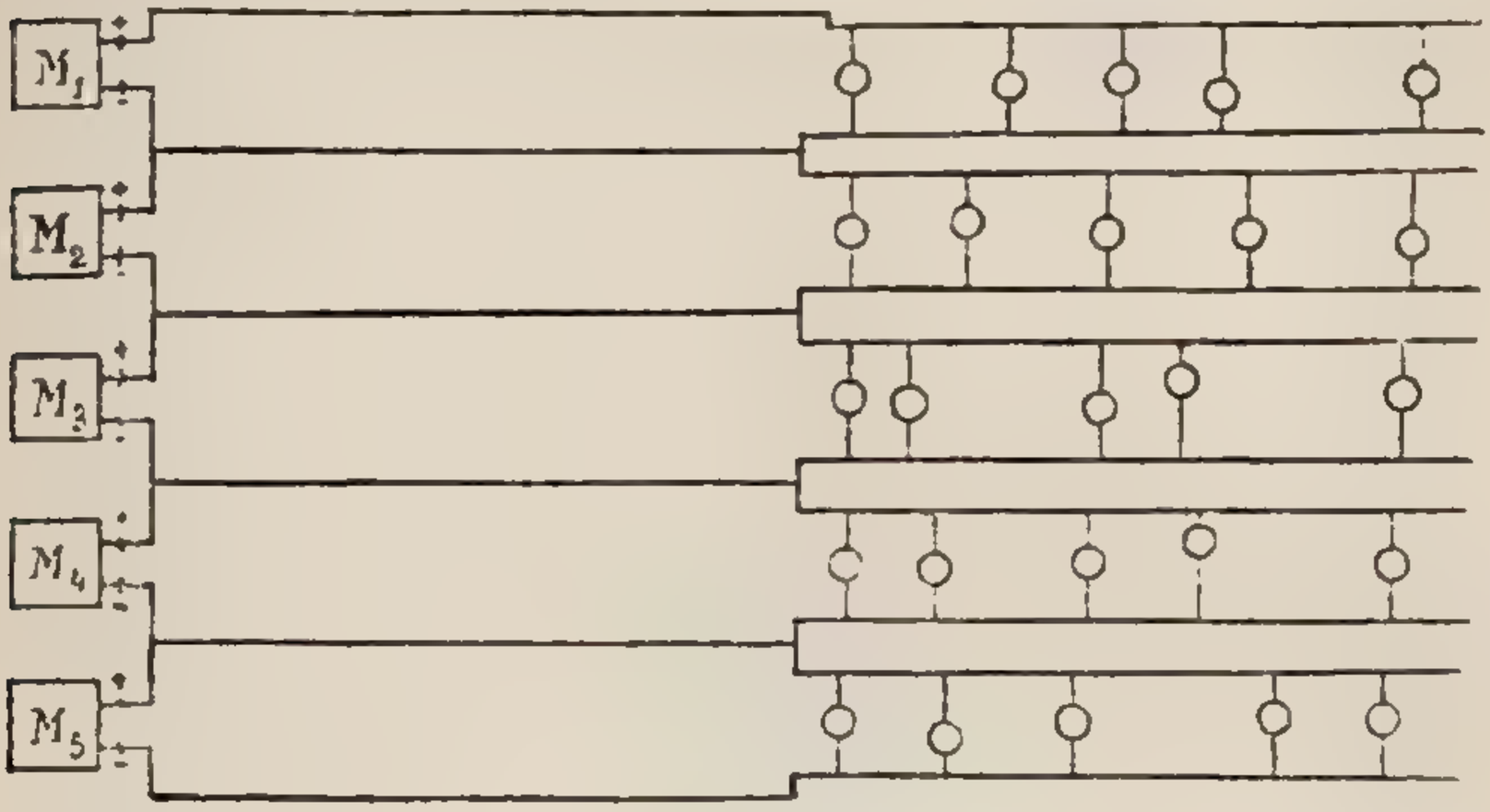


Fig. 42.

Verteilung der Elektrizität durch Akkumulatoren sind in letzterer Zeit recht bemerkenswerte Vorschläge gemacht. Jüngst sind einige Zentralen nach diesen Systemen ausgeführt, über die sich bis jetzt nur löbliches sagen lässt. Über die Vorteile, welche die Akkumulatoren bei ihrer Verwendung überhaupt und besonders in Zentralstationen bieten, haben wir schon im II. Kapitel Ausführliches mitgeteilt. Es bliebe hier nur noch übrig die vorgeschlagenen Systeme kurz zu skizzieren und zu charakterisieren. Bei denselben müssen stets zwei Gesichtspunkte berücksichtigt werden, die bei einer Zentralanlage in Frage kommen, einmal kann es sich nämlich darum handeln, dass die Maschinen und Akkumulatoren zur Zeit des stärksten Betriebes den Lichtbetrieb gemeinschaftlich be-

sorgen und letztere bei geringem Consum hernach allein arbeiten, oder dass die Maschinen nur zum Laden der

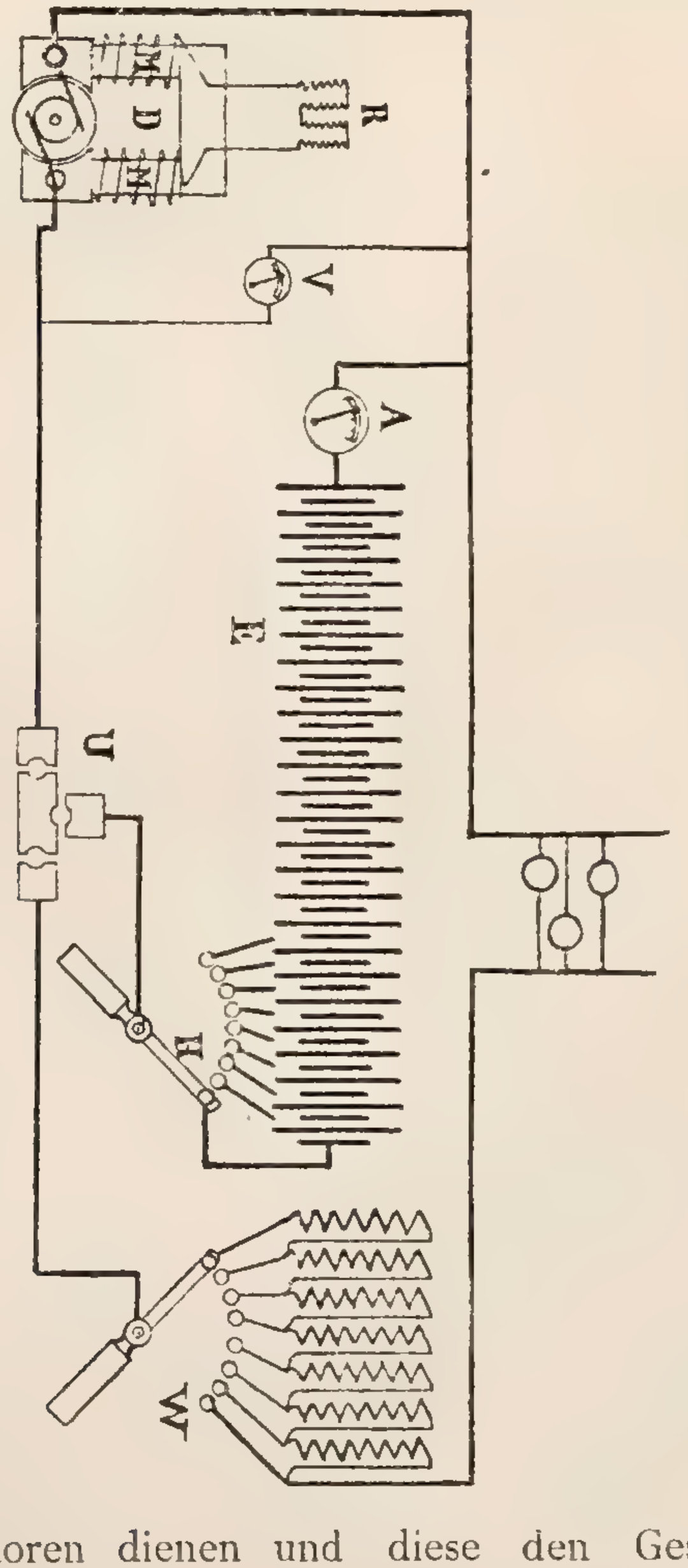


Fig. 43.

Akkumulatoren dienen und diese den Gesamtbetrieb hernach übernehmen. Beide Fälle bieten für die Öko-

nomie der Anlage nicht zu unterschätzende Vorteile. Das erste System ist bereits in London, Kensington Court und anderwärts zur Ausführung gekommen und wird auch von vielen anderen Städten geplant. Für die vollständige Durchführung des zweiten Systems sind uns bisher noch keine Beispiele bekannt.

Fig. 43 veranschaulicht ein System, nach welchem die Verteilung der Elektrizität mit Hilfe der Maschine und Akkumulatoren oder auch der Akkumulatoren allein erfolgen kann. Die Maschine ist eine Nebenschlussmaschine, welche durch den Regulator R reguliert wird. Die Zellen E sind parallel in die Hauptleitung eingeschaltet und können durch eine Stöpselung U sowohl mit der Maschine, als auch mit den Lampen verbunden werden. Der Ladestrom, der stets konstant zu halten ist, wird mit Hilfe des Strommessers A gemessen, die Klemmenspannung mittelst des Spannungsmessers V.

Will man die Dynamo und die Akkumulatoren gemeinschaftlich den Betrieb übernehmen lassen, so ist eine Verbindung zwischen H und der Mittellamelle vom Umschalter U zu bilden. Ebenso können auch die Akkumulatoren allein, wie aus der Figur ersichtlich, die Verbrauchsapparate im Leitungsnetz speisen.

Nebenbei mag noch bemerkt werden, dass ausser der Regulierung durch den Hebel H, mit welchem bei der Entladung einige Zellen ausgeschaltet werden können, auch noch ein Rheostat mit sehr geringem Widerstande,

der aus einem frei gespannten Draht in Form einer Schleife (Fig. 44) besteht, benutzt werden kann. Ein

Fig. 44.

verschiebbares Metallstück B schliesst dann einen Teil des Drahtes kurz.[1]) Auf diese Weise kann man am bequemsten den Widerstand um kleine Beträge verändern.

Von **F. J. Huber** in **Hamburg** ist folgende Anordnung für Zentralen angegeben worden. Das Schema

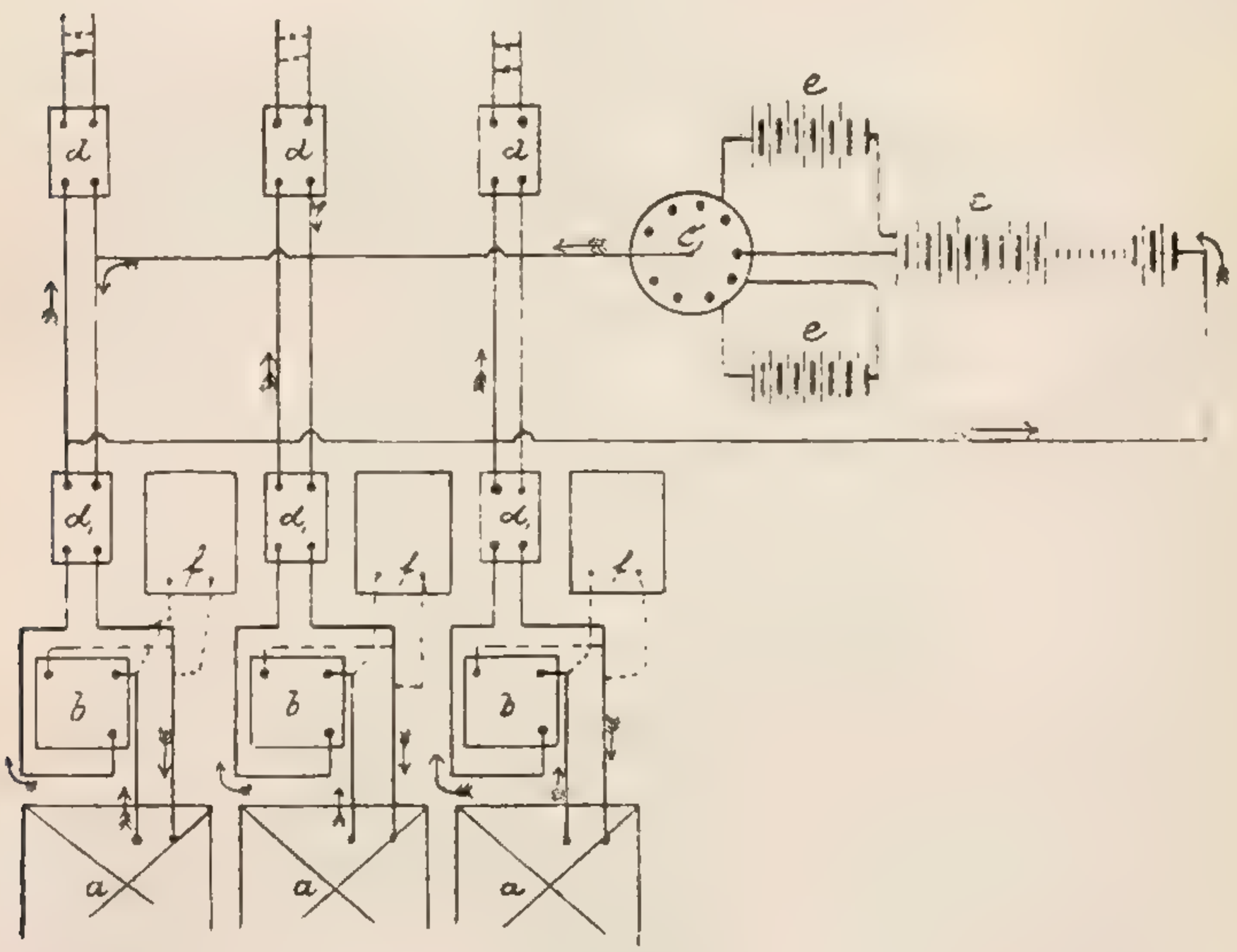


Fig. 45.

[1]) Grawinkel und Strecker, Handbuch für die Elektrotechnik.

derselben ist aus Fig. 45. zu ersehen. Jede Dynamomaschine a kann durch einen Doppelausschalter d_1 vollständig ausgeschaltet werden; wird derselbe geschlossen, so schaltet sich die betreffende Dynamo durch den automatischen Umschalter b erst dann ein, wenn durch die Nebenschlusswicklung, in der sich behufs Regulierung der Widerstand f befindet, die Magnetisierung der Elektromagnete so stark ist, dass die Maschine Strom von solcher Spannung erzeugt, um die Spannung des aus den Akkumulatoren l austretenden Stromes überwinden zu können; umgekehrt werden durch den betreffenden Patent-Umschalter Maschinen, die abgestellt werden, ausgeschaltet, ehe Strom in denselben zurücktreten kann. Von den Doppelausschaltern d_1, d_1 tritt der Strom in die Akkumulatorenleitung, in der die Spannung durch den Universalumschalter C_1 entweder von der Hand oder automatisch, konstant erhalten wird und dient derselbe bei geöffneten Doppelausschaltern d, d, d, zum Laden der Batterie. Wird einer oder mehrere der Doppelausschalter geschlossen, so tritt der von den Dynamos erzeugte Strom ganz oder teilweise in die Verbrauchsleitungen, eventuell unter gleichzeitiger Stromentnahme aus der dann parallel geschalteten Akkumulatoren-Batterie, welcher bei abgestellten Maschinen der Gesamt-Strom entnommen wird.

Andere Methoden, die Akkumulatoren in Zentralstationen zu benutzen, sind folgende:

Man teilt den Bezirk, der von einer Zentralstation mit Strom versorgt werden soll, in verschiedene Unterstationen, in welchen je zwei Akkumulatorenbatterien aufgestellt sind, von denen die eine mit Hintereinanderschaltung aller Elemente von der Zentralstation aus durch einen hochgespannten Strom geladen wird, während die andere inzwischen, durch einen besonderen Kommutator parallel geschaltet, den Lampen den erforderlichen Strom zuführt.

In dieser Anordnung, welche absolut sicher ist, kommt der hochgespannte Strom nie mit dem niedrig gespannten der Lampen in Verbindung. Man hat jedoch den Nachteil, dass alle für die Lampen nötige Energie zuerst in die Akkumulatoren und erst von diesen in die Lampen geht; man braucht daher eine weit grössere Zahl von Akkumulatoren, als bei dem sogleich zu beschreibenden System.

Eine andere Anordnung, welche von **Monnier** für die Beleuchtung von Wien vorgeschlagen und von **Crompton** ausgefuhrt ist, bietet grössere Vorteile. Der Strom der Zentralstation ladet vier hintereinander geschaltete Akkumulatoren-Batterien mit 400 Volt Spannung, während diese Batterien sich in ein Vierleitersystem mit je 100 Volt entladen.

Es werden hierbei die Akkumulatoren geladen, solange resp. sobald der Verbrauch an Strom geringer ist, als der gelieferte; die Lampen werden also direkt durch den Hauptstrom unterhalten. Erst während der Stunden des

Erleuchtungs-Maximums fangen die Akkumulatoren an, Strom zu liefern und zwar bis zu einem Drittel der Gesamtstromstärke, während die anderen zwei Drittel durch den Hauptstrom direkt geliefert werden. Bei dieser Anordnung kann, wie man sieht, die Zahl der Akkumulatoren weit geringer sein, als in dem vorhergehenden Falle, ihre Kosten sind also nur für einen geringen Bruchteil der gesamten Energie in Rechnung zu setzen.

Die Leitungen im Lampenkreis und die Akkumulatoren sind hierbei sorgfältig vom Erdboden zu isolieren, da sie sehr beträchtliche Potential-Differenzen haben. In diesem System sind in der That die Potential-Differenzen zwischen den sekundären Linien, den Lampen und der Erde nicht so zu reduzieren, wie bei Anwendung der Transformatoren; in den von den Enden der Batterie nach den Lampen gehenden Leitern ist die Potential-Differenz dieselbe wie im primären Stromkreise.

Obgleich dieser Umstand das nicht Reussieren der Installation in Colchester veranlasst hat, ist er doch nicht in allen Fällen in demselben Masse schwerwiegend; man muss nur nicht daran denken, so hohe Potential-Differenzen zu benutzen, wie man sie bei Transformatoren benutzen kann. Nimmt man hierbei, was schon viel ist, eine Potential-Differenz von 1000 Volt in der primären Leitung an und setzt die Hälfte der Batterie auf die Erde, so hat man an ihr und den Lampen nur eine maximale Potential-Differenz von $\pm$ 500 Volt, was nicht gefährlich scheint.

Die in Seriensystemen benutzten Potential-Differenzen sind, wie wir früher schon dargethan haben, übrigens meist weit höher.

Die in Wien von Crompton für die Gascompanie errichtete Zentrale arbeitet mit 400 Volt und hat in den mehreren Monaten seit ihrer Inbetriebsetzung noch keinerlei Inkonvenienzen gezeigt.

Näheres über eine Anordnung von Akkumulatoren nach **de Khotinsky**, wie sie in der Zentrale Neue Friedrichsstrasse in Berlin benutzt ist, siehe im vorletzten Kapitel. —

Dies sind unseres Wissens die wichtigsten Systeme, welche bis jetzt für die Verteilung der Elektrizität durch Gleichstrommaschinen in Aussicht genommen worden sind. Es ist ohne weiteres klar, dass noch manche Verbindungen dieser Systeme untereinander denkbar sind, wobei das eine sich manche Vorteile des anderen anzueignen im Stande ist. Die Frage, welches System den Sieg über die anderen davon trägt, wird sich stets nur für jeden einzelnen gegebenen Fall entscheiden lassen.

IV.

Die Regulierungs-Systeme.

Für die Anlage von Zentralstationen ergab die Praxis in Bezug auf die zweckmässige Anordnung des Leitungsnetzes sofort gewisse Schwierigkeiten, welche mit der Grösse der Lampenzahl erheblich wuchsen. Der Grund für diese Schwierigkeit liegt in der Anforderung, dass dem wechselnden Stromkonsum an verschiedenen Stellen des Leitungsnetzes derart Rechnung zu tragen ist, dass die brennenden Lampen in ihrer Helligkeit nicht beeinflusst werden.

Das Licht der elektrischen Glühlampe sowohl wie das der Bogenlampe soll ein ruhiges, gleichmässig starkes sein, und muss besonders das erstere mindestens alle die Bequemlichkeiten bieten wie das Gaslicht, d. h. also bei seinen sonst das letzere in jeder Beziehung übertreffenden Eigenschaften muss es wie dieses bei möglichst gleichmässiger Helligkeit verteilbar und überall verfügbar sein.

Beim Ein- und Ausschalten einer geringeren oder grösseren Anzahl Lampen, also bei verschiedenem Stromkonsum, ändern sich aber die Widerstandsverhältnisse des gesamten Stromkreises derart, dass eine Spannungserniedrigung resp. Erhöhung eintritt, welche, wenn sie zu sehr von der normalen Spannung abweicht,

einmal die Helligkeit des Lichtes und zweitens die Lebensdauer der Glühlampen wesentlich beeinflusst. Die Erfahrung hat gezeigt, dass zur Erreichung eines vollständig gleichmässig hellen Lichtes, welches so gut wie keine Schwankungen zeigt, höchstens Schwankungen von 1—1½ Volt im Verteilungsnetz auftreten dürfen.

Dieser Bedingung hat man durch die verschiedenartigsten **Regulierungs-Systeme** mit mehr oder weniger Annäherung zu genügen gesucht.

Einmal kann man sogenannte Ausgleichsleitungen benutzen, d. h. solche Leitungen, mit welchen man die gleichen Pole der Verteilungspunkte an den Konsumstellen untereinander verbindet. Andererseits lassen die Schwankungen sich durch Veränderung des Widerstandes der Hauptleitung kompensieren.

Die erste Art der Regulierung ist bis jetzt in den vorhandenen Zentralstationen am meisten durchgeführt. Sie besitzt auch viele Vorzüge vor der Regulierweise der zweiten Art. Vor allem bietet ein Leitungsnetz mit Ausgleichsleitungen dadurch, dass dasselbe ein ganzes in sich zusammenhängendes System bildet, den Vorteil einer sehr grossen Betriebssicherheit; doch erfordert dieselbe einen nicht unbedeutenden Mehraufwand von Leitungsmaterial für die Ausgleichsleitungen und für die Leitungen, welche für die Messinstrumente zum Kontrollieren der Spannungen in den einzelnen Verteilungspunkten erforderlich werden. Denn, da diese Kontrolle in der Maschinenstation stattfinden muss, wird es in den meisten

Fällen nötig sein, von jedem Verteilungspunkte aus eine Messleitung nach der Maschinenstation zurückzuführen; nur in dem von Baumgardt (siehe auch Kapitel IX) vorgeschlagenen System, welcher sogenannte offene Ausgleichsleitungen anwendet, fallen die Kontrollleitungen für die Spannung bis auf eine fort.

Auch mag darauf aufmerksam gemacht werden, dass in einem Leitungsnetz mit Ausgleichsleitungen ein Teil einer Leitung für sich nicht benutzt werden kann, wenn die Ausgleichsleitungen nicht durch die Maschinenstation selbst gehen, also nicht auf bequeme Weise rasch unterbrochen werden können.

Dieser Mangel dürfte sich besonders beim Beginn des Betriebes bemerkbar machen, da dann der Strom auf das ganze Leitungsnetz sofort verteilt ist und man nicht wissen kann, wie viele Lampen in diesem Augenblicke eingeschaltet sind.

Es könnte also der Fall eintreten, dass, wenn man eine Maschine nach der andern auf das Leitungsnetz laufen lassen will, mehr Lampen in demselben gerade eingeschaltet sind, als für eine Maschine angängig. Ist z. B. die Zentrale für 6000 Lampen eingerichtet, welche von sechs Maschinen, die zu einander parallel geschaltet sind, à 1000 Lampen gespeist werden, und waren Abends vorher kurz vor Ausserbetriebsetzung 3000 Lampen eingeschaltet, so wird, wenn beim Inbetriebsetzen der Station erst eine Maschine auf die Leitung geschaltet wird, diese um 2000 Lampen überlastet. Man muss daher sofort noch die übrigen Maschinen hinzuschalten.

Der Ausweg, dass man die Hauptzuführungsleitungen, welche aus der Maschinenstation heraustreten, durch Ausschalter unterbricht, dann erst alle Maschinen in Betrieb setzt, dieselben auf gleiche Klemmenspannung beim Leerlauf bringt, und dann das Leitungsnetz in seiner Gesamtheit einschaltet, dürfte wegen des enormen Stosses, der durch dies plötzliche Einschalten entsteht, nicht besonders vorteilhaft für die Dampfmaschine sein. Dieser Übelstand wird indess durch eine vorherige Umschaltung auf Widerstände, welche das Leitungsnetz wenigstens teilweise, vielleicht zur Hälfte ersetzen, beseitigt. Während des Betriebes kann man dann, je nachdem der Konsum steigt oder fällt, entsprechend einzelne Dynamos ein- resp. ausschalten.

Das Verfahren des Ein- resp. Ausschaltens einer Dynamo, welche mit anderen auf denselben Stromkreis arbeitet, besteht im wesentlichen darin, dass man die elektromotorische Kraft der ein- resp. auszuschaltenden Dynamo zunächst der Klemmenspannung der übrigen gleich macht, dann ein- oder ausschaltet und schliesslich die elektromotorische Kraft der hinzugekommenen Dynamo allmählich steigert, bis alle Maschinen mit demselben Bruchteil ihrer Maximalleistung beansprucht sind. Die Nachregulierung der Maschinen bei einer Änderung in der Belastung des Stromkreises oder Schwankung der Tourenzahl des treibenden Motors geschieht im allgemeinen bei allen Maschinen zu gleicher Zeit; es sind zu diesem Zwecke die Hebel der Regulierwiderstände

durch eine Kuppelung vereinigt, welche indessen auch gestattet, jeden Hebel einzeln zu drehen, für den Fall, dass eine Maschine vielleicht in Folge ihrer Ungleichheit mit den anderen oder wegen schlechter Regulierung des zu treibenden Motors zu hoch oder zu niedrig belastet wäre.

Ein Leitungsnetz mit Ausgleichsleitungen, wie es in Europa und Amerika in grösseren Zentralen ausgeführt ist, stellt Fig. 46 dar. Die Erklärung desselben ist einer Patentbeschreibung des amerikanischen Elektrikers **Th. A. Edison** entnommen.

Die Patentbeschreibung lautet:

„Neuerungen in der Anordnung von Leitungen, um Elektrizität von der Stromquelle an die Verwendungsstelle zu leiten.“

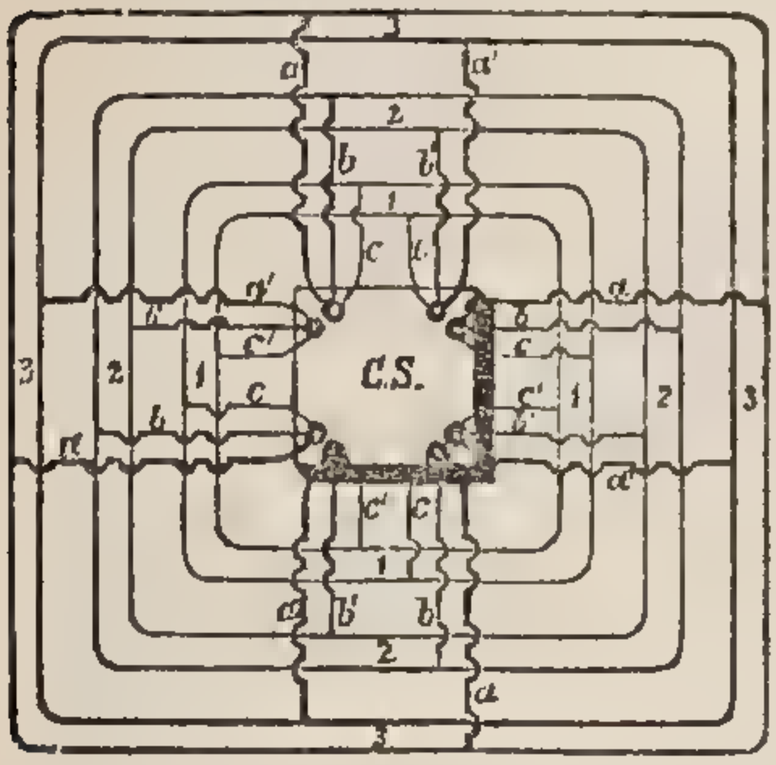


Fig. 46.

„Die Art und Weise, die Leitungen in einem Elektrizitätszuführungssystem zu legen, besteht darin, dass man diese Leitungen 1, 2, 3 . . . in Sätzen konzentrisch zu einander und der allgemeinen Disposition der Häuserkarrees folgend, anordnet, wobei jeder Satz mit der Stromquelle in der Zentralstation C S an einer grösseren Anzahl von Punkten durch Verbindungsleitungen a, b, c, a′, b′, c′ verbunden ist. Je weiter die Leitungen von der Stromquelle entfernt liegen, desto mehr nimmt ihr Querschnitt zu, um in allen Leitungen gleichen Widerstand zu haben.“

Fritsche benutzt ein ähnliches Verfahren, derselbe sucht die Hauptanschlussleitungen seines Systemes durch feste Ausgleichungswiderstände auf den gleichen Widerstand zu bringen und die Konstanterhaltung der Spannung im Gesamtleitungsnetz lediglich durch Einwirkung auf die Nebenschlusswickelung der Dynamomaschinen zu erreichen. Ein Vorteil seines Systemes ist es, dass Bogen- und Glühlampengruppen verschiedenster Grösse an das Verteilungsnetz angeschlossen werden können, so dass die bisher üblichen Einzelleitungen für die Bogenlampen, welche direkt vom Maschinen-Schaltbrett abgezweigt wurden, überflüssig geworden sind.

Das Wesen dieses neuen sogenannten Ringsystems[1]) besteht darin, dass man eine geschlossene positive und eine geschlossene negative Hauptverteilungsleitung in dem zu beleuchtenden Terrain so verlegt, dass diese Leitung so nahe wie möglich an den Hauptverbrauchsstellen vorbeiläuft. Der nächste Vorteil dieser Anordnungen ist der, dass man zu den einzelnen Lampen bezw. Lampengruppen nur sehr kurze Leitungen zu verlegen hat, also auch nur ein sehr geringer Spannungsabfall von der Hauptverteilungsleitung bis zur Verbrauchsstelle resultiert. An diese Hauptringleitung, welche entsprechend den mit Licht zu versorgenden Räumen ganz verschiedenartige Gestalt haben kann, schliessen sich Hauptzuleitungen in unten näher zu bezeichnender Weise an, welche zu dem Maschinenschaltbrett in der Maschinenstation führen

[1]) Centralblatt für Elektrotechnik. 1888.

Abgesehen von dem bequemen Anschluss einer beliebigen Anzahl sowohl Bogen- als auch Glühlampen an diese Hauptverteilungsleitung, welche einmal für einen Maximalstromkonsum dimensioniert, stets ohne weiteres die Installation von Lampen bis zu diesem Maximalstrom-konsum gestattet, besteht, wie wir später sehen werden, ein Hauptvorzug des Systems in der möglichen Art und Weise der Kontrollierung und Regulierung der Spannungen im Verteilungsnetz. Der Übersicht halber sind Kreise mit radialen Hauptzuleitungen angenommen. Der innere Kreis bedeutet den positiven, der äussere den negativen Strang der Verteilungsleitungen. Wie erwähnt, werden beide Stränge der Verteilungsleitungen in Wirklichkeit so verlegt, dass von denselben aus bis zu den Verbrauchs-stellen nur so kurze Leitungen nötig werden, dass deren Querschnitte den Anforderungen der Feuersicherheit zu entsprechen brauchen und dabei trotzdem der Spannungs-abfall bis zu den Lampen noch unter 1 bezw. $1^1/_2$ Volt bleibt. Der positive und negative Strang des Verteilungsnetzes oder kurz des Ringes, liegen so dicht nebeneinander bezw. übereinander, dass die Längen derselben gleich sind. Ein im IX. Kapitel zur Berechnung eines derartigen Verteilungsnetzes benutztes Ringschema ist in sechs Teile und zwar gleiche Teile zerlegt, wodurch gezeigt werden soll, dass jedes Segment auf denselben Widerstand ge-bracht ist.

Ausserdem sind die Anschlusspunkte für die positiven und negativen Hauptzuleitungen nicht an dieselben Stellen gelegt, wie dies bis jetzt bei grossen Leitungsnetzen

üblich war, sondern es liegen die negativen Anschlusspunkte immer in der Mitte zwischen den positiven Anschlusspunkten oder umgekehrt, sodass der Widerstand, gerechnet von einem negativen bis zu einem positiven Anschlusspunkt, stets der gleiche ist.

Die von den so gelegenen Anschlusspunkten zum Maschinenschaltbrett an die positive bezw. negative Schiene geführten Hauptzuleitungen sind, und das ist sehr charakteristisch für das System, alle auf gleichen Widerstand gebracht, was bei ihren in Wirklichkeit sehr verschiedenen Längen durch kleine feste Zusatzwiderstände erreicht wird.

Die Grösse des Widerstandes der Hauptzuleitungen kann gewählt werden entweder nach der Örtlichkeit, nach dem Maximalstromkonsum oder nach ökonomischen Gesichtspunkten für Anlage oder Betrieb. Die Widerstände, welche man der Ringleitung giebt, bestimmen sich nach den Spannungsschwankungen, welche man an den einzelnen Lampen zulassen will.

Die Kontrollierung der Spannungen an den Anschlusspunkten wird durch folgende Anordnung möglich: Von den sechs Anschlusspunkten der positiven Hauptzuleitungen an die Ringleitung führen sechs Messdrähte, die ebenfalls alle auf gleichen Widerstand gebracht sind, nach der Maschinenstation zurück, wo sie an einer Klemme vereinigt werden; von dieser Klemme führt ein Draht durch einen Spannungsmesser zu einer zweiten Klemme, an welcher die sechs zu den negativen Anschluss-

punkten führenden Messdrähte von ebenfalls gleichem Widerstand vereinigt sind. Durch diese Anordnung werden sämtliche Spannungen, die an den verschiedenen Anschlusspunkten herrschen, summiert, und der Spannungsmesser zeigt die mittlere Spannung an.

Nach dem Gesagten ist es leicht verständlich, dass man, um eine gleichmässige Spannung im Leitungsnetz zu erhalten, nur die Dynamomaschine nach dem Spannungsmesser einzustellen hat.

Die Modifikation der Klemmenspannung der Dynamomaschine, oder allgemeiner gesagt, die Produktion der elektrischen Energie, entsprechend dem augenblicklichen Stromkonsum, kann entweder durch Regulierung des magnetischen Feldes der Dynamomaschine oder durch Geschwindigkeitsänderung erfolgen.

Soll beispielsweise an den Anschlusspunkten eine mittlere Spannung von 100 Volt herrschen, so muss der Spannungsmesser, an welchem die Messdrähte vereinigt sind, stets 100 Volt zeigen, gleichviel ob viel oder wenig Lampen brennen und gleichviel, an welchen Stellen des Netzes die abweichenden Stromentnahmen erfolgen.

Der Unterschied der Spannungen zwischen zwei Entnahmestellen hängt dann nur von dem in der Ringleitung gestatteten Spannungsabfall ab. An der Stelle, wo viel Strom entnommen wird, werden die Lampen mit einer um ein gewisses Mass niedrigeren Spannung als die mittlere brennen, während an den Stellen, wo eine geringe Stromentnahme erfolgt, die Lampenspannung

die mittlere überwiegen wird. Wie wir später aus einer genauen Rechnung erkennen werden und wie die Erfahrung bestätigt hat, werden in praxi die Lampen einer Gruppe gegen diejenigen einer anderen nie um so viel höher oder niedriger brennen können, wie im Verteilungsnetz maximale Spannungsschwankungen angenommen sind.

Das Messen der Spannung in einem solchen System ist auch noch auf andere Weise möglich; erstens kann man einen Spannungsmesser benutzen, welchen man der Reihe nach auf die verschiedenen Messleitungen umschaltet und so die mittlere Spannung ermittelt. Entspricht dieselbe der mittleren Betriebsspannung, die man angenommen hat, nicht, so hat man noch den Strom der Nebenschlussmagnete zu regulieren, bis die gewünschte mittlere Spannung erreicht ist. Anderseits kann man dies erreichen durch eine Reihe von Spannungsmessern, welche für jede Hauptstromzuleitung separat angebracht werden; es lässt sich indess nicht leugnen, dass die erste Methode höchst unpraktisch ist, die zweite dagegen die Übersicht sehr erschwert. Am einfachsten wird sich der Betrieb bei Anwendung eines Spannungsmessers gestalten, an dem ohne jede Umschaltung in jedem Moment die mittlere Spannung abgelesen werden kann.

Ein Regulierungssystem, welches von **M. Baumgardt** angegeben ist, macht die vielen Messleitungen entbehrlich. Seine Regulierungsweise hat mit der von Fritsche die Verwendung von Ausgleichsleitungen gemein. Während jedoch Fritsche geschlossene Ausgleichsleitungen herstellt,

benutzt Baumgardt offene. Die rechnerische Behandlung dieses interessanten Problems soll für einige Hauptfälle im neunten Kapitel gegeben werden.

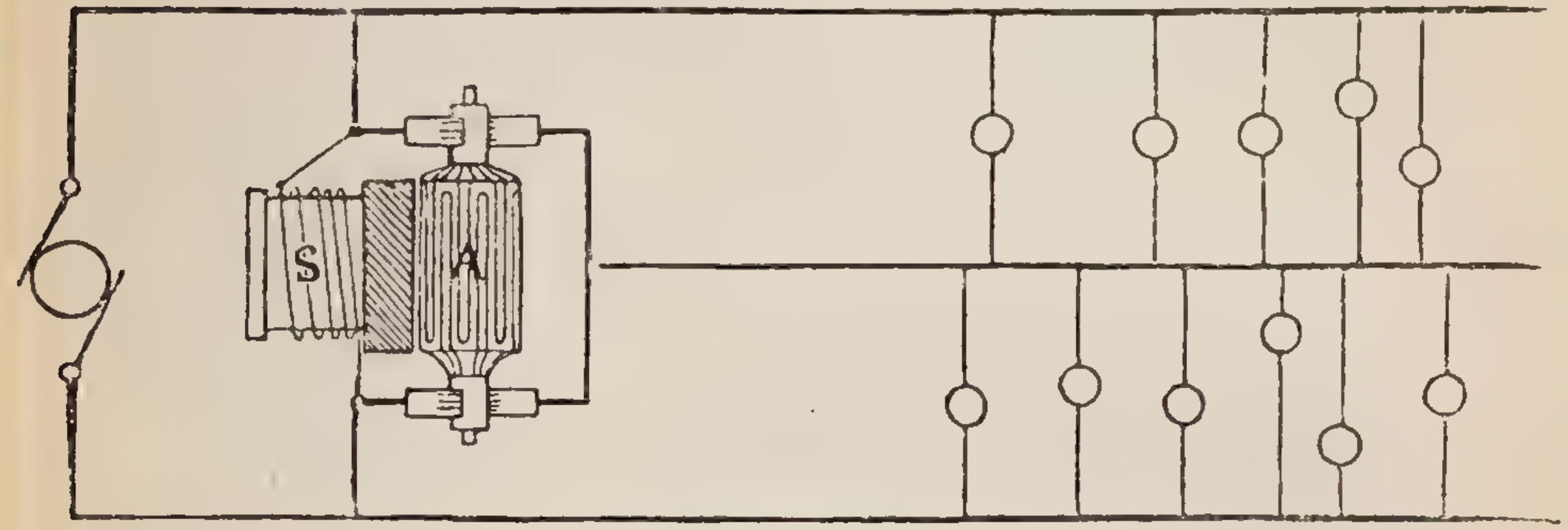


Fig. 47.

Eine besondere Art der Regulierung für eine Anlage, bei der das Dreileitersystem mit einer Maschine, welche die doppelte Spannung besitzt, angewandt wird, hat **Elihu Thomson** angegeben (Fig. 47).

Dieselbe wirkt automatisch und verbraucht nicht viel elektrische Energie.

Wenn bekanntlich in einer Dreileiteranlage, die durch eine Maschine betrieben wird, in beiden Hälften eine ungleiche Zahl von Lampen brennt, so muss man mit Hilfe von Widerständen regulieren, und dies ist kostspielig und umständlich. Bei der Regulierung, wie sie E. Thomson angiebt, werden die äusseren Leiter des Systems mit einer Maschine entsprechender Spannung verbunden, und zwischen dieselben die Magnetbewicklung S von grossem Widerstand einer Hilfsmaschine

geschaltet, deren Anker zwei von einander isolierte Bewicklungen und zwei Kollektoren besitzt. Zugleich werden von den äusseren Leitern Drähte zu je einer der Ankerbewicklungen geführt, während die andern Enden dieser letzteren beide mit dem Mittelleiter vereinigt sind.

Die Ankerbewicklungen besitzen geringe Widerstände. So lange in beiden Hälften der Anlage gleich viel Lampen brennen, fliesst durch den Anker A nur so viel Strom als nötig ist, um die Drehung aufrecht zu erhalten. Werden aber auf einer Seite Lampen gelöscht, so verursacht die auf dieser Seite zu hoch gewordene Spannung ein Anwachsen des Stromes in der mit ihr verbundenen Ankerhälfte und damit eine gesteigerte elektromotorische Gegenkraft. Zugleich wird durch die gesteigerte Geschwindigkeit in der zweiten Ankerhälfte ein Strom erzeugt, welcher sich zu dem zur zweiten Hälfte fliessenden Strom addiert, und die gesunkene Spannung auf dieser Seite wird ebenfalls in Folge der gesteigerten Drehungsgeschwindigkeit gehoben.

Die Hilfsmaschine wirkt also ähnlich wie ein Transformator. —

Für den Fall, dass die örtliche Lage der verschiedenen Hauptstromverbrauchspunkte zu einander eine Anwendung von Ausgleichsleitungen nicht gestattet, kann die Regulierung der Spannung, resp. die Konstanterhaltung der Spannung an den Hauptverteilungspunkten noch auf andere Weise erfolgen.

Es kann dies geschehen

I. durch Verändern der Gesamtspannung in der Maschinenstation, indem man den Nebenschluss der Dynamos derartig reguliert, dass die Spannung auf einem Mittelwerte, der sich aus den verschiedenen Werten der Spannungen an den Hauptverteilungspunkten ergiebt, konstant erhalten wird, oder

II. durch Verändern des Widerstandes der Hauptleitung, resp. der einzelnen Zuleitungen zu den Hauptverteilungspunkten, indem man den Widerstand proportional der Zu- oder Abnahme des Stromverbrauchs verändert.

Betrachten wir zuerst die Regulierungsweise I., so kommen hier zwei Fälle in Betracht,

1) die Hauptverteilungspunkte liegen derart weit entfernt, dass ein grösserer Spannungsverlust stattfinden muss, als allgemein üblich ist.

Man wird dann zweckmässig für jede Hauptzuleitung, deren Zahl man natürlich sehr beschränkt, eine besondere Dynamo aufstellen, deren Nebenschlusswickelung so reguliert wird, dass an den Hauptverteilungspunkten eine konstante Spannung herrscht, oder

2) die Hauptverteilungspunkte liegen nicht so weit entfernt, als dass man nicht den Spannungsverlust klein machen könnte. Man lässt dann (und dies ist die allgemein übliche Anordnung) die Dynamos sämtlich auf eine gemeinschaftliche Hauptleitung laufen. Wir geben im folgenden eine von der Firma **Siemens & Halske** in **Berlin** benutzte Anordnung[1]):

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien.

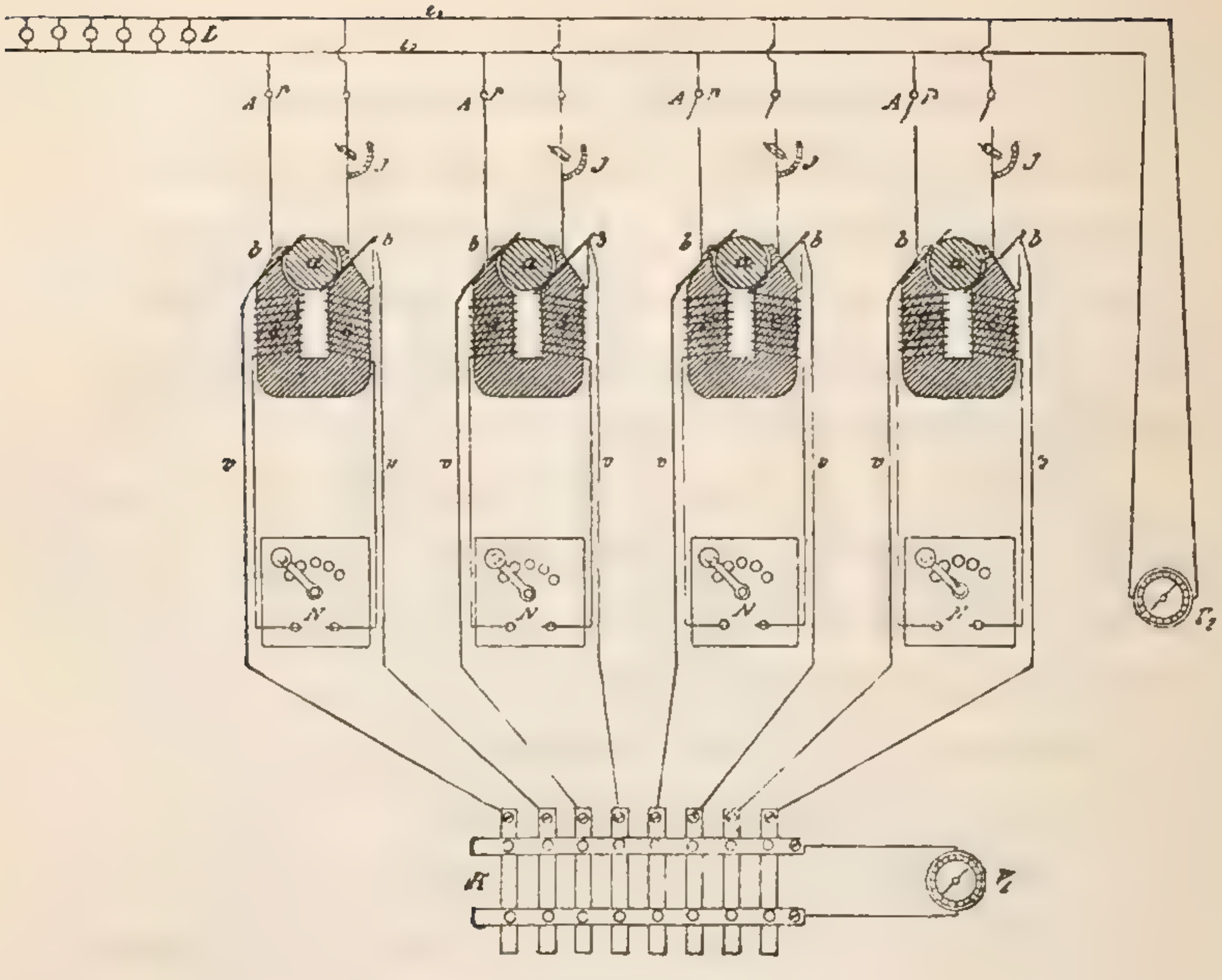


Fig. 48.

In der Figur 48 bedeuten l_1 und l_2 die Leitungen nach den Lampen L, deren jeweilige Stromspannung durch den Spannungsmesser V_2 angezeigt wird. In die Leitungen p, welche die Polklemmen b der Maschinen mit den Lampenleitungen l_1 und l_2 verbinden, sind Ausschalter A eingefügt, ferner ist ein Umschalter K angebracht, mit Hilfe dessen die Spannungsleitungen v von den Polklemmen einer jeden Maschine an den Spannungszeiger V_1 gelegt werden können. Je nach dem Strombedarf werden eine oder mehrere Dynamomaschinen in Betrieb gesetzt. Soll infolge vermehrten Strombedarfes zu den bereits stromliefernden Maschinen noch eine Maschine zugeschaltet werden, so

letzt man dieselbe in Gang, verbindet die Spannungsseitungen v von den Polen der Maschine durch den Umschalter K mit dem Spannungszeiger V_1 und schaltet nach Herstellung der erforderlichen Tourenzahl der Maschine von dem Nebenschlusswiderstand N so viel Abteilungen ein, dass der Spannungszeiger V_1 genau dieselbe Stromspannung angiebt, wie der Spannungszeiger V_2. Nun erst wird die Verbindung der Maschinenleitungen mit den Lampenleitungen l_1 und l_2 durch den Ausschalter A hergestellt. Ist dieses geschehen, so läuft die neu hinzugeschaltete Maschine noch leer, d. h. sie giebt weder Strom an die Lampenleitungen ab, noch empfängt sie Strom von denselben. Um die neu eingeschaltete Maschine in der gewünschten Stärke zu beanspruchen, werden durch Drehung der Kurbel soviel Abteilungen des Nebenschlusswiderstandes N ausgeschaltet, dass der Strommesser J in der Maschinenleitung den entsprechenden Strom anzeigt.

Soll dagegen nach erfolgter Abnahme des Stromkonsums eine Maschine abgestellt werden, so werden durch Drehung der Kurbel des Nebenschlusswiderstandes N soviel Abteilungen dieses Widerstandes eingeschaltet, dass der Strommesser J auf den Nullpunkt einspielt, die Maschinenleitung mithin stromlos wird. In diesem Momente wird die Maschinenleitung durch A unterbrochen.

Das Ein- und Ausschalten von Widerständen kann einerseits durch die Hand des beaufsichtigenden Maschinisten, wie in dem eben angeführten System, oder durch automatische Reguliervorrichtungen erreicht werden.

Die Handregulatoren sind so allgemein bekannt, dass eine Beschreibung derselben überflüssig erscheint, ausserdem sind die Konstruktionen derselben äusserst zahlreich, jede Fabrik hat fast ihr eigenes System. Gewöhnlich sind in den Zentralanlagen sämtliche Regulatoren für die Maschinen nebeneinander angeordnet. Die Kurbeln befinden sich auf einer gemeinschaftlichen Welle, können jedoch auch einzeln unabhängig voneinander gedreht werden, indem man eine einfache Sperrvorrichtung auslöst.

Automatische Reguliervorrichtungen existieren ebenfalls in grosser Anzahl. Wir wollen von ihnen die bekanntesten kurz erwähnen.

Einer der ältesten dieser Apparate ist der automatische Spannungsregulator von **O. Schulz** in **Strassburg.** Ein anderer brauchbarer Apparat ist der der elektrotechnischen Fabrik **Cannstadt.**

Die einzelnen Spiralen dieses Nebenschlussregulators enden in Quecksilbergefässen, über welchen eine Metallachse liegt, die an ihrem Umfange eine entsprechende Anzahl gegeneinander versetzte Schaufeln trägt.

Unter der Achse befindet sich ein Doppelsolenoid von hohem Widerstande, welches parallel zur Hauptleitung geschaltet ist und welches zwei Eisenkerne je nach der Wirkung des Stromes mehr oder weniger anzieht. Die dadurch hervorgebrachte Auf- und Abwärtsbewegung der Kerne wird benutzt, um durch Schnurübertragung der Achse eine Bewegung zu erteilen. Das infolge der Achsendrehung eintretende Ein- und Austauchen der Schaufeln

in und aus den Quecksilbergefässen bewirkt das Ein- und Ausschalten der Widerstände in recht präziser Weise, da durch Friktionsrollenlagerung der Achse die Reibungsarbeit auf das äusserste Minimum beschränkt ist.

Rechts von dem Solenoid befinden sich noch eine Anzahl Zusatzwiderstände zu demselben, durch deren

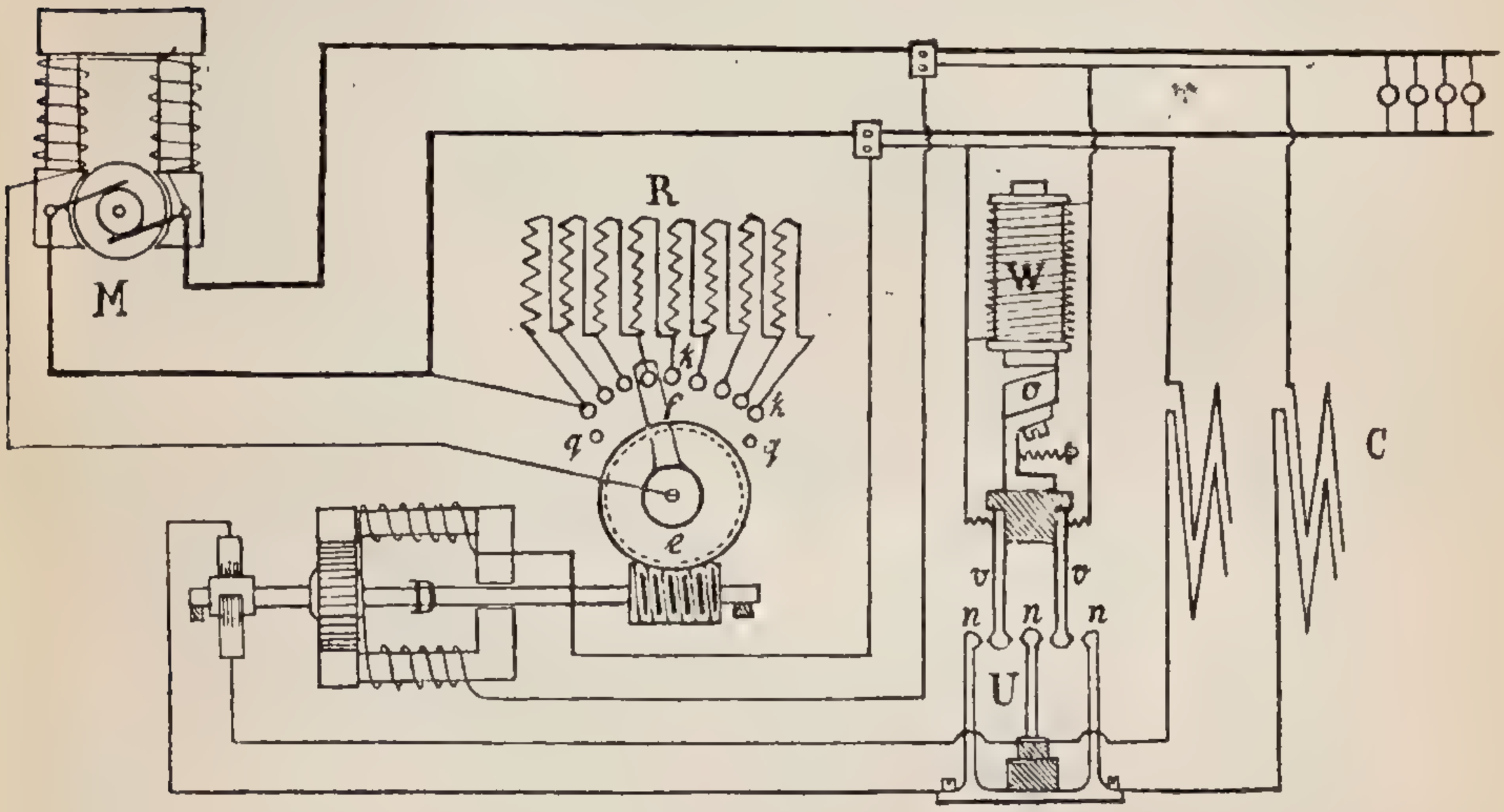


Fig. 49.

Einschaltung die anziehende Kraft der Spulen gesteigert oder geschwächt werden kann, wodurch der Apparat in einfachster Weise befähigt wird, auf höhere oder niedrigere Spannung einzuregulieren.

Der automatische Spannungsregulator von **Fischinger** in **Dresden** ist folgendermassen eingerichtet:

Auf einem Brette, Figur 49, befinden sich der Rheostat R, dessen einzelne Abstufungen nach einem Kreise von

Kontaktknöpfen k gehen, auf welchen der im Mittelpunkt dieses Kreises auf einer Welle drehbare Kontakthebel f schleift. Diese Welle trägt ausserdem noch ein fest aufgekeiltes Schneckenrad e, während der Hebel f nur mittelst Reibung von der Welle beim Drehen mitgenommen wird, weil sonst bei zu viel Drehungen der Welle dieser Hebel endlich an die Stifte q q anstossen und diese verbiegen würde.

In dieses Schneckenrad greift eine Schnecke, welche auf der Welle einer kleinen Dynamomaschine D sitzt. Diese Dynamo D ist folgendermassen in den Stromkreis eingeschaltet:

Die Magnete besitzen einen hohen Widerstand und sind zu den Hauptklemmen der Maschine M parallel geschaltet, so dass ein Strom permanent die Magnete magnetisiert. Der Anker dieser Dynamo D ist auch parallel zu den Hauptklemmen der Maschine M geschaltet, jedoch enthält die Leitung einen Stromwender U, wodurch die Drehrichtung des Ankers umgekehrt werden kann. Es wird also das Schneckenrad e einmal links, das andere mal wieder rechts herum gedreht, und dadurch der Widerstand des Rheostaten R verändert. Dieser wirkt dann wieder auf die Magnetwicklung, also auch auf die Klemmenspannung der Hauptmaschine M ein.

Dies Umschalten nach der einen oder anderen Richtung wird durch das Relais W bewirkt, dessen Wicklung ebenfalls parallel zwischen die Hauptklemmen der Maschine M geschaltet ist.

Der Kern dieses Relais trägt den Anker o, welcher durch mehr oder weniger Anziehen die Kontaktfedern v v entweder rechts oder links an die Kontakte bei n n anlegt, wodurch der Strom entweder in der einen oder in der anderen Richtung durch den Anker geschickt oder auch gänzlich unterbrochen wird, wenn die richtige Stellung des Rheostatenhebels f erreicht ist. Damit beim Unterbrechen keine Funken auftreten, ist noch ein Kondensator C parallel zu den Unterbrechungsstellen und parallel zu den Hauptklemmen der Maschine M geschaltet. —

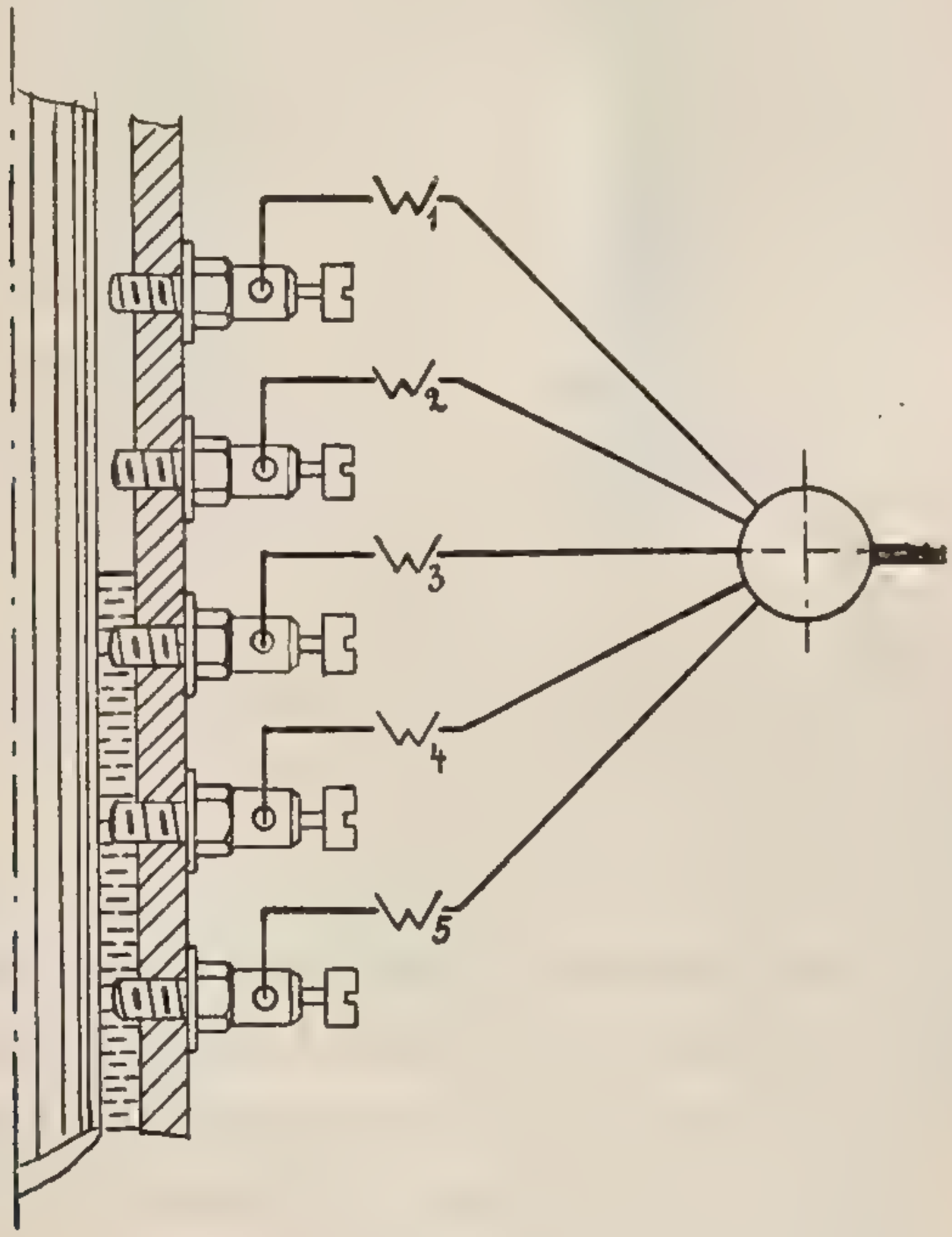


Fig. 50.

Die zweite Methode, die Spannung konstant zu erhalten, besteht in der Veränderung des Widerstandes in der Hauptleitung resp. den einzelnen Zuleitungen zu den Hauptverteilungspunkten.

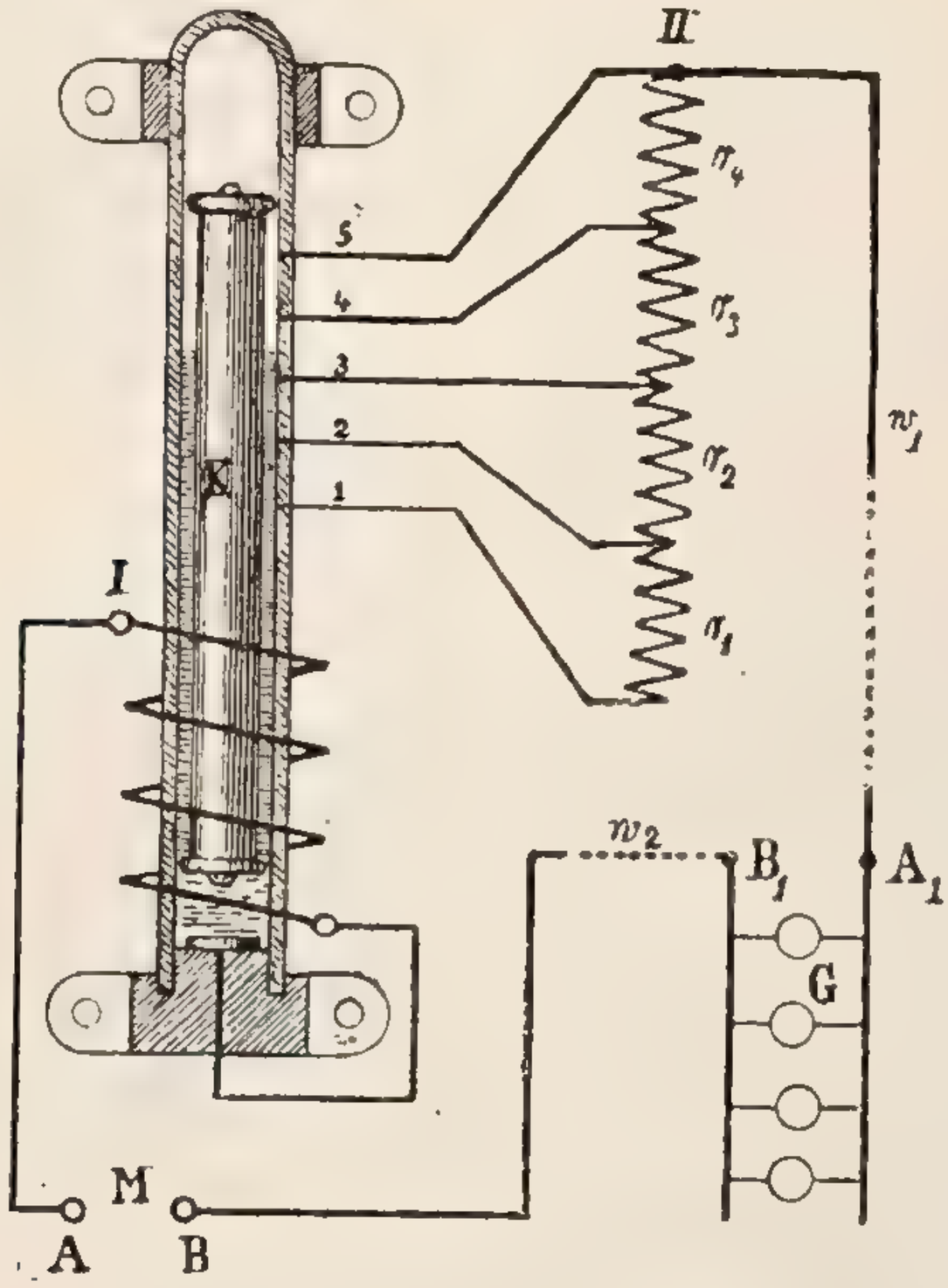


Fig. 51.

Die Veränderung des Widerstandes kann ebenfalls wieder auf mechanischem Wege oder automatisch vor sich gehen. Die erstere Art kommt wohl schwerlich für Zentralen in Betracht. Wir beschränken uns daher darauf, nur die hierher gehörigen automatischen Reguliervorrichtungen zu erwähnen.

Man kann hierzu die Veränderung des Stromes benutzen; denn je stärker derselbe wird, um so mehr

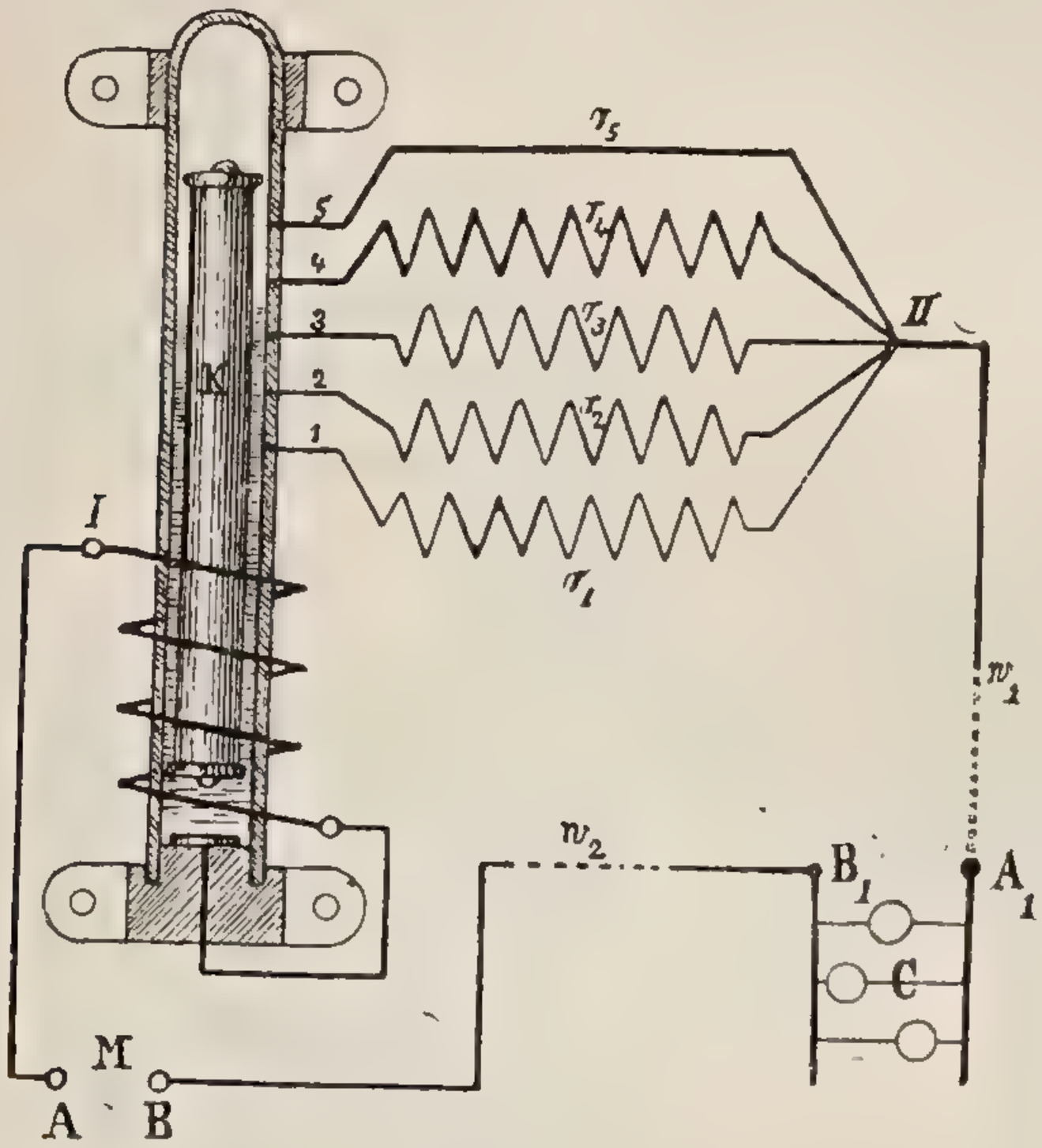


Fig. 52.

wird z. B. ein Eisenkern in eine Solenoidspule hineingezogen werden. Durch eine geeignete mechanische Vorrichtung wird zugleich ein entsprechend grosser Widerstand ausgeschaltet.

In Fig. 50, 51, 52 und 53 ist der von **Lahmeyer** konstruierte Apparat, von ihm **Fernspannungs-Regulator** genannt, schematisch zur Anschauung gebracht.

Derselbe besteht aus einer geschlossenen und teilweise mit Quecksilber gefüllten Röhre von isolierendem

Material, Holz, Hartgummi, Vulkanfiber, Glas etc. Der Luftraum über dem Quecksilber ist mit reinem Stickstoff gefüllt, damit keine Oxydation des Quecksilbers eintreten kann.

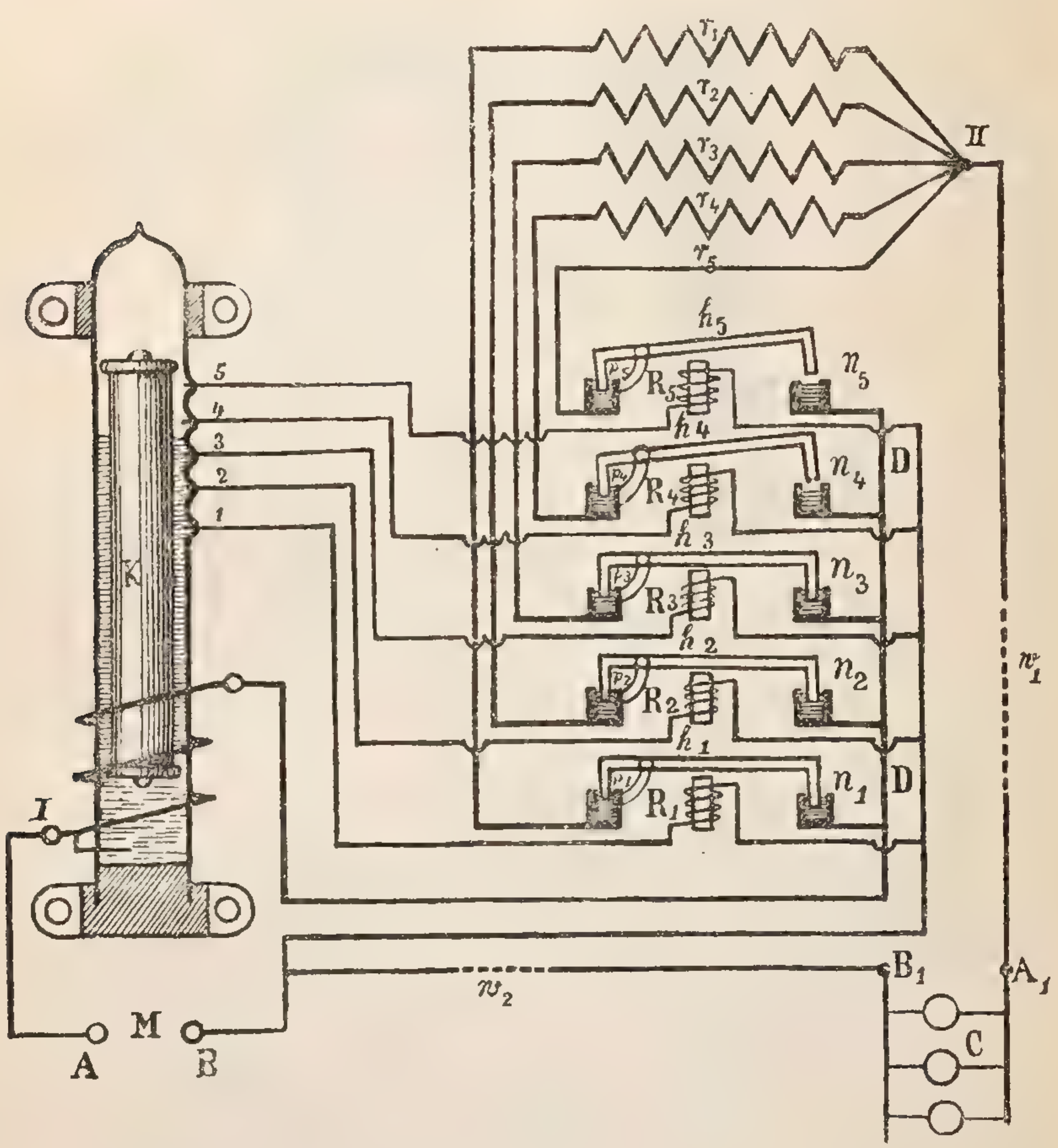


Fig. 53.

Der untere Teil der Röhre ist aussen mit einer Wickelung von einigen Windungen versehen, durch welche der Hauptstrom fliesst. Diese bilden also ein Solenoid. Der Kern dieses Solenoids ist ein cylindrischer Eisenstab, welcher innerhalb der Röhre im Quecksilber schwimmt.

Geht kein Strom durch die Drahtwindungen, so steht der Eisenkern auf seinem höchsten Punkt, demzufolge nimmt das Quecksilber seine niedrigste Stellung ein.

Nun sind in der Seitenwand der Röhre übereinander in geeigneten Zwischenräumen so viel Kontaktstöpsel luftdicht eingeschraubt, Figur 50, als man Abstufungen der Spannung haben will, welche man ausgleichen soll. Ist z. B. der Spannungsverlust, der ausgeglichen werden soll, 10 Volt und will man von 1 zu 1 Volt regulieren, so sind 10 solcher Kontakte nötig. Diese Kontakte stehen in Verbindung mit den Ausgleichswiderständen r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, Fig. 51, 52, 53, für den Hauptstrom, welche entweder, wie Figur 52 und 53 zeigt, parallel, oder wie Figur 51 zeigt, hintereinander geschaltet sind.

Der Hauptstrom gelangt von der Klemme A der Maschine M durch die Klemme I am Apparat zum Quecksilber, indem er nach Durchlaufen der Windungen durch den Boden der Röhre hindurch eintritt.

Damit nun bei Nullstrom der Stromkreis nicht unterbrochen ist, muss bei diesem niedrigsten Quecksilberstande der unterste Kontakt noch in das Quecksilber tauchen.

Der Strom geht darauf durch den untersten Kontakt und den entsprechenden Widerstand r_1, zur Ausgangsklemme II der Maschinenstation.

In dem Masse nun, wie Strom durch die Windungen geht, wird der Eisenkern mehr und mehr eingezogen, das Quecksilber steigt und es werden allmählich die Kontakte miteinander durch das Quecksilber verbunden. Es werden also dadurch, je nachdem die Anordnung der Widerstände ist, entweder, wie in Fig. 51, dieselben der Reihe nach kurz geschlossen, also unwirksam gemacht, oder es werden, wie in Fig. 52, dieselben der Reihe nach noch dazu parallel geschaltet, wodurch auf diese Weise mit zunehmendem Strom der Widerstand verringert wird.

Meist zieht Lahmeyer eine Modifikation des Apparates vor, die darin besteht, dass der Hauptstrom gar nicht in das Quecksilber der Röhre eintritt, sondern nur ein Zweigstrom, der nun Elektromagnete von hohem Widerstande erregt, deren Anker dann die Widerstandskontakte herstellen (Fig. 53). Die einzelnen Details sind aus den schematischen Figuren 51, 52 und 53 ohne weitere Erklärungen verständlich.

Der Apparat ist der Abnutzung wenig unterworfen; er ist empfindlich und wirkt sicher, erfordert keine besondere Rückleitung und dient gleichzeitig als Strommesser. Natürlich verlangt er ein gewisses Minimum der Stromstärke. Für eine ganz schwache Beanspruchung der Leitung, die meist nur kurze Zeit dauert, ergänzt Lahmeyer seinen Regulator auch wohl durch einen an

der Verbrauchsstelle angebrachten einfachen Relais-apparat, welcher einen Widerstand parallel zu den Lampen einschaltet und so die minimale Stromstärke erhält.

Erwähnung verdient auch der automatische Haupt-stromregulator von **S. Schuckert** in **Nürnberg** (Fig. 54). Derselbe bewirkt ebenfalls durch selbstthätiges Ein- und Ausschalten von Widerstand in die Hauptleitung ein Konstanthalten der Lampenspannung bei wechselnder Zahl der brennenden Lampen.

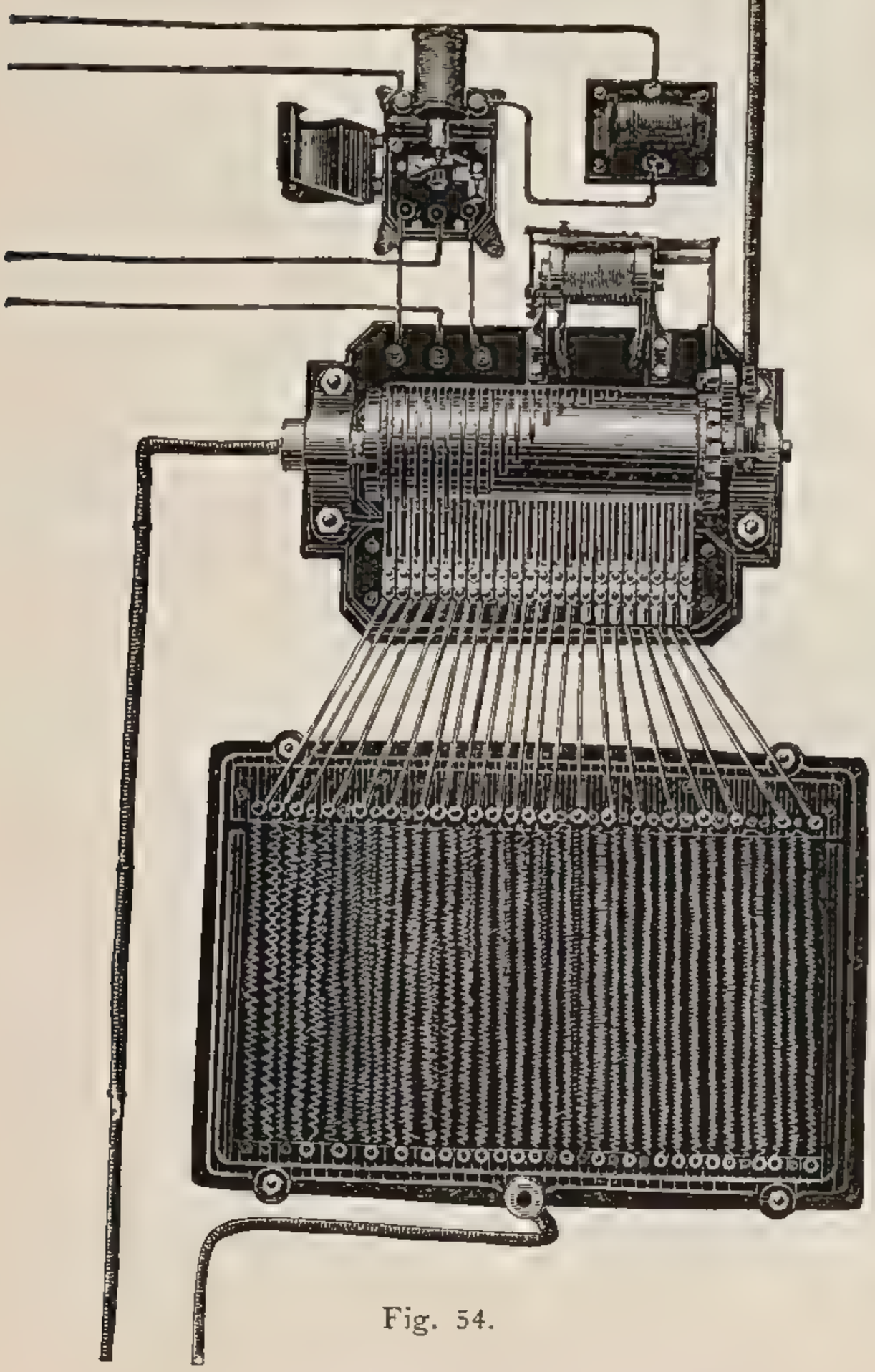


Fig. 54.

Zu jedem Regulator gehört ein Relais und ein Spiralen-Widerstand.

Der Regulator besteht aus einer hohlen Metallwalze, welche auf dem Umfange mit Kontaktrippen von verschiedenen Umfangslängen besetzt ist und mittelst eines seitlich

angebrachten Schaltwerks beim Wechseln der Lampenzahl eine Rechts- oder Links-Drehung erhält.

Ein biegsames Kabel, durch den hohlen Zapfen der Walze eingeführt und im Innern der Walze befestigt, leitet den Hauptstrom in den Apparat. Unterhalb der Walze sind in gleichen Abständen wie die Rippen, ebensoviele federnde Kontaktklemmen befestigt, von welchen Drähte zu den einzelnen Drahtspiralen des Widerstandsrahmens geführt werden.

Das Schaltwerk besteht aus zwei Sperrklinken, welche von einer Transmission durch Excenter beständig hin und her bewegt werden. Diese Sperrklinken hängen an den Ankern zweier Elektromagnete, welche oben an der Grundplatte des Regulators montiert sind, und bleiben solange ausgelöst, als die Stromkreise der Elektromagnete geöffnet sind. Wird der eine oder der andere Elektromagnet eingeschaltet, so wird dessen Anker angezogen und lässt die zugehörige Sperrklinke in ein an der Walze befestigtes Zahnrad einfallen. Durch die hin- und hergehende Bewegung der Sperrklinken wird nun das Zahnrad und mit ihm die Walze in der einen oder anderen Richtung bewegt, und es kommen dadurch mehr oder weniger Kontaktrippen mit den Kontaktklemmen in Verbindung, wodurch eine grössere oder geringere Anzahl der parallel geschalteten Widerstandsspiralen eingeschaltet und dadurch der Widerstand verringert bezw. vergrössert wird. Das Einschalten der Elektromagnete wird durch ein Relais besorgt. Das Relais besteht aus

einer vertikal stehenden hohlen Drahtspule, welche durch die Spannungsleitung mit dem Verteilungszentrum verbunden wird, und aus einer Eisenröhre, welche, solange Strom durch die Spule geht, in der Höhlung der letzteren schwebend erhalten wird. Die Eisenröhre trägt am unteren Ende ein horizontales Querstück; unterhalb und oberhalb des Querstücks sind an der Grundplatte zwei Kontakte angebracht, von denen jeder mit einem der oben erwähnten zwei Elektromagnete in leitender Verbindung steht.

Bei normaler Lampenspannung wird die Röhre soweit in die Spule hineingezogen, dass das Querstück zwischen diesen beiden Kontakten schwebt, ohne dieselben zu berühren.

Variiert die Lampenspannung um 1 bis $1^1/_2$ Volt nach oben oder unten von der normalen Spannung, so wird die Röhre gehoben oder gesenkt und bewirkt oben oder unten Kontakt, wodurch Strom in die Wicklung des entsprechenden Elektromagnets geht und die Regulierung in oben besprochener Weise bewirkt.

Unten an der Achse der Eisenröhre befindet sich ein Schälchen, auf welche man kleine Zusatzgewichte auflegen und dadurch das Relais für jede beliebige Spannung zwischen 95 und 110 Volt einstellen kann.

Je mehr Gewichte aufgelegt werden, um so höher ist die mittlere Lampenspannung, auf welche der Regulator reguliert.

Diese Regulatoren sind in grosser Zahl bei den neuesten Zentralen dieser Firma zur Verwendung gekommen. (Siehe Titelbild.)

Das Regulierungssystem, wie es **Alioth & Cie.** in **Basel** anwendet, geht von dem Gesichtspunkte aus, stets statt eines ausgeschalteten Verbrauchsapparates sofort einen entsprechenden Widerstand einzuschalten. Da das Verteilungssystem eine Reihenschaltung von Gruppen ist, so muss hier stets die Stromstärke in dem ganzen Leitungskreise eine solche Grösse besitzen, wie sie in der momentan am stärksten beanspruchten Gruppe benötigt wird. Die einzelnen Gruppen werden dann auf gleichem Widerstand erhalten durch einen automatischen Regulator, der am Anfang der Abzweigung für die betreffende Gruppe sich befindet und Widerstand stets derart parallel zu dieser Gruppe schaltet, dass der Gesamtwiderstand dieser Gruppe konstant bleibt. In jeder Gruppe oder in jedem Bezirk ist also ein solcher automatischer Regulator eingeschaltet; er trägt dabei auch den Spannungsverlusten in den Zweig- und Hauptleitungen Rechnung. Durch eine eigenartige Schaltung der unten beschriebenen Regulatoren wird ferner bewirkt, dass dieselben nur in den wirklich mit weniger Lampen als andere brennenden Gruppen Widerstände einschalten und so nur die sich bildenden Differenzen ausgleichen, nicht aber, sich gegenseitig ausbalanzierend, unnützer Weise alle Strom verzehren können.

Ob nun von diesen Stellen der Hauptleitung, deren Potentialunterschied fortwährend aufrecht erhalten wird,

Fig 55.

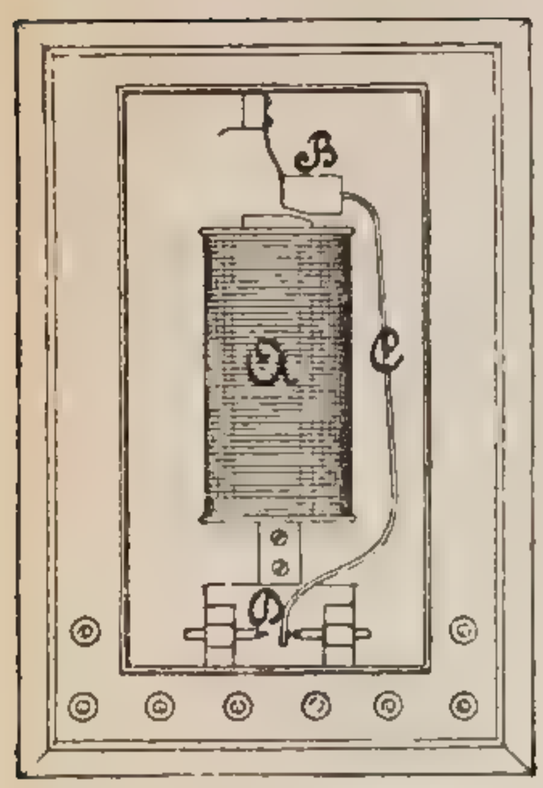


Fig .56.

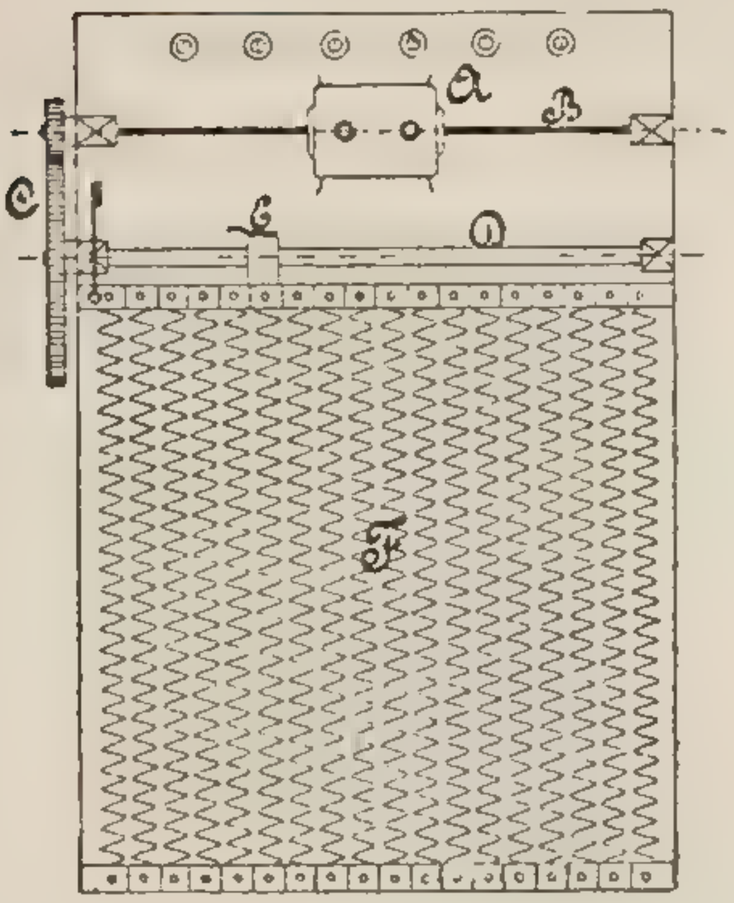
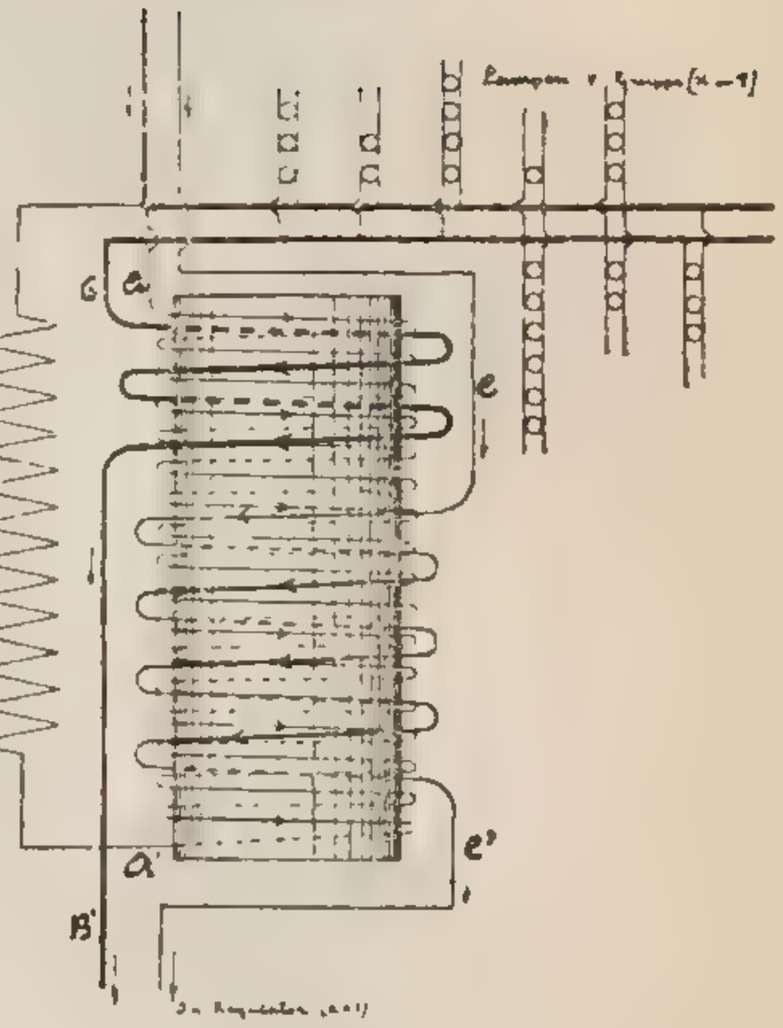


Fig. 57.



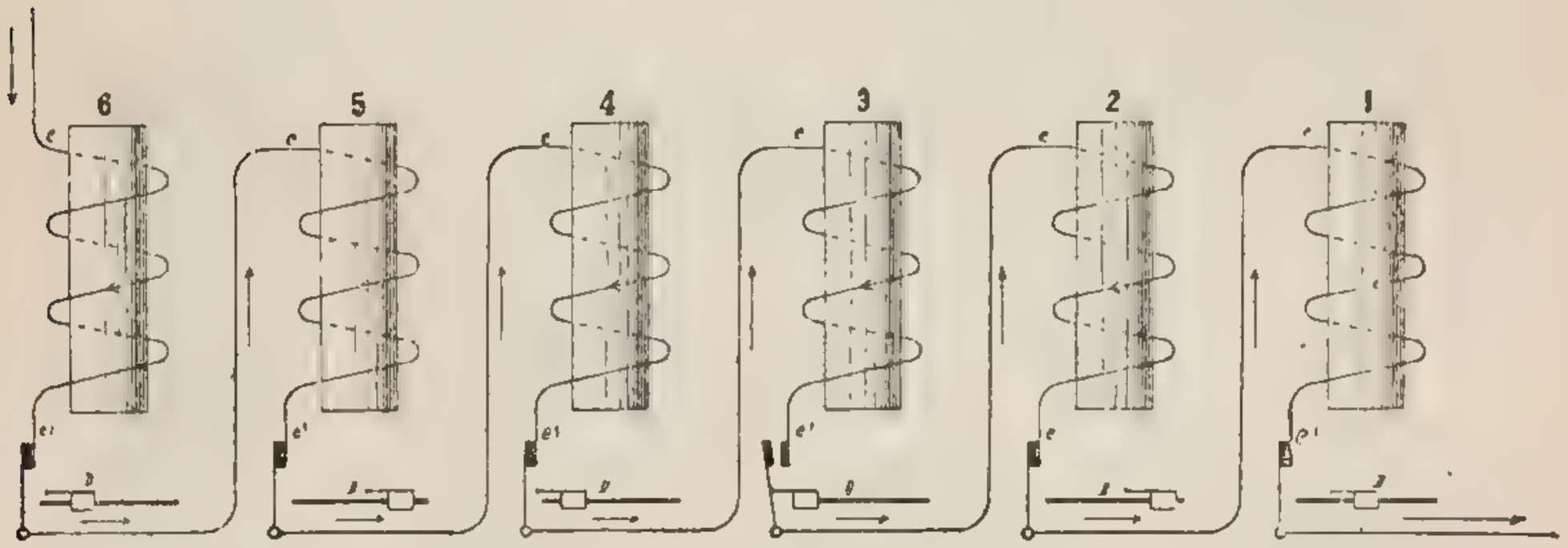


Fig. 58.

direkt diejenigen Zweigleitungen, an welche die Abonnenten anschliessen, ausgehen können (z. B. bei schmalen, langgestreckten Ortschaften), oder ob man hier erst für jeden einzelnen Bezirk besondere Verteilungsleitungen abzweigen will, ist Sache spezieller Erwägung und Rechnung bei jeder einzelnen Anlage.

Alioth & Cie. konstruieren die oben erwähnten Regulatoren in zwei Typen, von welchen zur Erläuterung

des Systems der zweite im Prinzip hier ausgeführt werden soll.

Der Regulator besteht aus zwei Teilen:

1) dem Relais (Fig. 55), welches die regulierende Spule A von nachstehend beschriebener Wicklung enthält, sowie einen von ihrem Magneten angezogenen und durch eine Blattfeder zurückgehaltenen Anker B, welcher seinerseits einen Arm C mit Kontakten aus Platin D trägt und bei der kleinsten Bewegung nach der einen oder andern Richtung je einen beliebig abgezweigten Strom schliesst, der auf den zweiten arbeitenden Teil des Apparates übergeht.

2) Dem Rheostaten mit Antriebvorrichtung (Fig. 56) enthaltend: Elektromotor A, welcher durch den ihm vom Relais zugesandten Strom je nach dessen Richtung im einen oder andern Sinne gedreht wird; Welle B, auf der dessen Anker sitzt; Übersetzung von Stirnrädern C, Gewindespindel D, Mutter mit Kontaktvorrichtung E, die vom Motor mittelst der genannten Teile zwischen Kontaktschienen hin und hergeführt wird und je nach ihrer Lage einen grösseren oder kleineren Teil der Drahtspirale des Rheostaten F in den Stromkreis einschaltet.

Relaisspule. Die Spule des dirigierenden Relais (Fig. 57) enthält drei Wicklungen, von denen die ersten zwei beständig, die dritte nur ausnahmsweise in den Strom eingeschaltet sind.

1) Wicklung AA′ aus feinem Neusilberdraht bildet einen von den beiden Hauptkabeln der Gruppe abgenommenen Zweigstrom und erhält die stärkste, der Feder entgegengesetzte Einwirkung auf den Magneten; dieselbe ist einzig abhängig von der Spannungsdifferenz der Hauptkabel und derselben nahezu genau proportional.

2) Wicklung BB′ aus ganz wenig Umgängen eines der beiden Hauptkabel am einen Ende der Gruppe; nach Abzweigung des durch den Rheostaten gehenden Stromteils, wird vom ganzen zur Beleuchtung in der betreffenden Gruppe verwendeten Strom durchflossen und wirkt AA′ entgegen.

Diese beiden Umwindungen bestimmen gewöhnlich die Stellung des Relaisankers. Es soll die Spannungsdifferenz betragen:

für eine Stromstärke von 0 Amp. in den Lampen der Gruppe (excl. Regulator) . . a

für eine Stromstärke von Maximum = M Amp. in den Lampen der Gruppe . . . . . b.

wobei a die Brennspannung der Lampen und b dieselbe + Max. Verlust in Zweigleitungen + Max. Verlust in Hausleitungen bedeutet, und es sei:

Widerstand der Wicklung AA′ . . . . . = w

Anzahl Umgänge „ AA′ . . . . . = α

„ „ „ BB′ . . . . . = β

so muss, um in beiden Grenzfällen eine Mittellage der Kontaktnadel zu erhalten, der Gleichung genügt werden:

$$\text{Ampèrewindungen} = \frac{a}{w}\alpha = \frac{b.}{w}\alpha - m\beta.$$

In kleinen Verhältnissen, wo die Zweigleitungsverluste gering sind, kann die Wicklung BB′ auch ganz wegfallen. Dafür, dass die Regulatoren ihre erforderliche Spannung auch immer zur Verfügung haben, sorgt ein ähnlich konstruierter Regulator auf der Zentralstation, der dann auch noch die jeweiligen Spannungsverluste der Hauptleitung kompensiert, aber immerhin eine kleinere Empfindlichkeit als die Gruppenregulatoren haben darf.

3) Wicklung CC′ aus feinem Kupferdraht und ebenfalls AA′ entgegengesetzt wirkend, kann an beliebigen Punkten der Hauptleitung abgezweigt werden.

Zumeist wird sie aus praktischen Gründen vom (+) Hauptkabel der letzten Beleuchtungsgruppe abgenommen, geht durch die Spulen aller Regulatoren und schliesst hinter dem ersten wieder an die (—) Haupt-Rückleitung an; sie bildet einen Nebenschluss mit grossem Widerstand zu einer oder mehreren Lampengruppen, gleichviel zu welchen. Dieser Stromkreis wird von jedem Regulator in der einen Grenzlage, wenn die letzte Spule des Rheostaten ausgeschaltet und derselbe stromlos ist, unterbrochen (bei gegenwärtiger Anordnung durch die Mutter E der Schraubenspindel D (siehe Fig. 58) und hat also, so lange irgend ein Regulator am Ende bleibt, keinerlei Einfluss auf die Regulierung der Gruppen.

Erst wenn der letzte Regulator ebenfalls Widerstände einzuschalten beginnen will, wird CC′ geschlossen und dieses hat dann zur Folge, dass alle Relais, bei dieser Abschwächung der Wirkung von (AA′—BB′) dem Druck

ihrer Federn nachgebend, ihre Motoren in Bewegung setzen und so lange von ihren Widerständen ausschalten, bis einer der Regulatoren, wahrscheinlich der zuletzt einschaltende, wieder ans Ende gekommen ist und den Strom unterbricht, worauf alle ihre Gruppen wieder auf die von (AA′—BB′) verlangte Spannung einregulieren.

Aus vorstehender Beschreibung erhellt u. A.

1) Der Regulator des Bezirks mit dem grössten Stromkonsum muss immer sämtliche Widerstände ausgeschaltet haben.

2) Wird je der Konsum in allen Bezirken gleich, so müssen alle Regulatoren auf Null stehen und können keinen Strom verzehren.

3) Selbstredend müssen sie es auch dann thun, wenn alle Lampen überhaupt gelöscht sind, da dies nur ein spezieller Fall von 2 ist, u. s. w.

Zur grösseren Sicherung des Betriebes (Reserve) sowohl als zur bessern Regulierung der Spannung (an verschiedenen Orten) kann auch jede Gruppe mit mehreren Regulatoren versehen werden. In diesem Falle würden, entsprechend deren Anzahl per Gruppe, auch mehrere Leitungen CC′ angeordnet.

Die Überlegenheit des Systems über andere ist aus vorstehender Beschreibung leicht zu erkennen. Es vereinigt im wesentlichen die Vorteile der Parallelschaltung mit denjenigen der Serienschaltung, ohne deren Nachteile mit in den Kauf zu nehmen und ermöglicht dieserhalb unter gewissen Umständen, da bei gleichem prozentualen

Energieverlust die Leitungsquerschnitte im Quadrat mit der Stromstärke verringert werden dürfen, die Ausführung einer Anlage mit Gleichstrom, welche sonst nur mittelst Transformatoren oder Akkumulatoren, zur Ladung in Serien geschaltet, überhaupt gemacht werden kann. Als einzigen Nachteil für den Nutzeffekt sind die von den Regulatoren konsumierten Differenzen der Gruppen oder Quartiere in Kauf zu nehmen, und es ist natürlich bei jeder Anlage Sache des entwerfenden Ingenieurs, durch geschickte Wahl der Gruppen (z. B. gleichmässige Verteilung der die ganze Nacht brennenden öffentlichen Lampen unter die Gruppen etc.) diese Differenzen möglichst zu vermindern. Zeigt sich im Betrieb irgend eine Gruppe dauernd überlastet, so ist es bei richtiger Anlage eine Leichtigkeit, Teile derselben einer anderen Gruppe anzuschliessen.

Bezüglich der Sicherheit einer solchen Anlage für die Benutzer mag betont werden, dass, wie bei einem reinen Parallelschaltungssystem, an einer und derselben Stelle nur Spannungsdifferenzen gleich der Lampenspannung (65—120 Volt) vorkommen.

Ausser der vollständigen Unabhängigkeit aller Lampen hat das System noch den Vorteil einer genauen Spannungsregulierung in unmittelbarer Nähe derselben.

V.

Die Leitungen.

Die den elektrischen Strom fortleitenden Drähte können **oberirdisch** oder **unterirdisch** geführt werden. Als Material verwendet man für dieselben gewöhnlich Kupfer, zuweilen findet auch Siliciumbronze Verwendung, besonders, wenn es sich um die Fortleitung von Strömen geringer Intensität handelt, da dies Metall den Vorzug einer bedeutenderen relativen Festigkeit als Kupfer besitzt und daher sehr grosse Spannweiten zulässt.

Oberirdische Leitungen lassen sich nur bis zu einer gewissen Drahtstärke ausführen; für zu dicke Drähte würde die Zahl der Unterstützungspunkte eine zu grosse werden. Dagegen lassen sich für unterirdische Leitungen Drähte jeden Querschnitts verwenden. In den amerikanischen Städten wurden anfangs die Leitungen insgesamt oberirdisch geführt; aber infolge der grossen Verbreitung des elektrischen Lichtes durch Zentralen entstanden in dieser Richtung bald Unzuträglichkeiten, welche dem öffentlichen Verkehr sowohl wie dem Betriebe der Anlage empfindliche Störungen verursachten. Man musste daher vielfach zu unterirdischen Leitungen seine Zuflucht nehmen; diese Art der Verlegung ist jetzt auch gesetzlich vorgeschrieben.

Da indessen die unterirdischen Leitungen bedeutend kostspieliger als die oberirdischen sind, so suchte man

natürlich Mittel und Wege, um die denselben anhaftenden Nachteile zu beseitigen oder wenigstens doch zu vermindern.

So schlug Flad ein System von etwa haushohen eisernen Türmen vor, zwischen denen Tragseile zum Aufhängen der Leitungen gespannt sind. Diese Türme stehen an den Kreuzungspunkten der Strassen und überspannen mit den Bogen, auf welchen sie ruhen, die Fahrdämme. Jenes System wird in New-Orleans benutzt und hat sich bis jetzt gut bewährt.

In den letzten Jahren sieht man jedoch, grösstenteils durch gesetzliche Vorschriften gezwungen, von den Ausführungen weiterer oberirdischer Leitungen ab und benutzt dieselben nur in ganz besonderen Fällen.

Die Vorschläge und Versuche für die Herstellung unterirdischer Leitungen sind sehr mannigfaltig. Die bisherigen Ausführungen lassen sich systematisch einteilen in Tunnelanlagen, welche einen geräumigen unterirdischen Kanal erfordern, in Einziehsysteme, bei denen man die Leitung in rohe eingebettete Röhren irgend eines Materials einzieht, und in festgelegte Leitungen, die isoliert direkt in die Erde vergraben werden.

Die Tunnelanlagen sind meistens sehr kostspielig und werden höchstens für Hauptleitungen, die in grosser Zahl nebeneinander liegen, verwandt.

Das Einziehsystem ist vielfach ausgeführt worden. In New-York verwendet man Kanalkörper von Asphalt und Sand, da Eisen und Holz in dem salzhaltigen Grund

nicht lange genug erhalten bleiben. Die Kanalkörper bestehen aus parallelepipedischen Blöcken, die mit Längsbohrungen versehen sind. Die Blöcke werden in einem Graben so angeordnet, dass die Bohrungen lange Röhren von einem Untersuchungsbrunnen zum andern bilden. In diese Röhren werden dann von den Untersuchungsbrunnen aus die Leitungen eingezogen.

Arnold & Crammer setzen Kanäle zur Aufnahme von Leitungen aus gewelltem Blech zusammen; die Biegungen der Bleche sind sechseckig und durch Aufeinanderlegen zweier Bleche entstehen sechseckige prismatische Zwischenräume.

Chenewoth stellt die Leitungskanäle dadurch her, dass er um einen Kern das plastische Material, aus dem der Kanal bestehen soll, giesst, und nach Erstarren des Materials den Kern herauszieht.

Aird verwendet Thon oder irdene Rohre, welche durch Metallmuffen verbunden werden.

Das System von Brooks besteht in dem Einziehen der mit einem isolierenden Fasergewebe, gewöhnlich Jute, umhüllten Leitungsdrähte in Eisenröhren, welche in den Strassengrund eingebettet werden; darauf werden diese Röhren mit Öl gefüllt, so dass Feuchtigkeit und Luft völlig abgeschlossen ist.

Es wird behauptet, dass von den 800 Leitungen, welche nach diesem System in New-York hergestellt und seit zwei Jahren im Betrieb sind, bisher keine versagt oder auch nur die geringsten Reparaturkosten verursacht

habe. Das Verlegen der Leitung geschieht mit grosser Leichtigkeit; Kabel von beträchtlicher Länge (bis zu 1 Meile = 1,6 km) können eingezogen werden, selbst Biegungen des Rohrwegs, die häufig vorkommen, sollen bei der Installation keine Schwierigkeiten bieten. Die Abzweigungen von den Hauptleitungen und die Einführungen in die Häuser geschehen ebenfalls unterirdisch.

Dagegen erklärt ein behördlicher Bericht aus Philadelphia, dass die nach dem Brooks-System ausgeführten Leitungen fast sämtlich unbrauchbar geworden sind.

Forbes verwendet blanke, aufgeschlitzte Kupferröhren, die mittelst Porzellanscheiben in der Mitte von Eisenröhren gehalten werden. In die Kupferröhren wird noch blanker Kupferdraht eingezogen, was von den an allen Strassenecken angebrachten Mannlöchern aus geschieht.

Eine eigenartige Isolierung hat Fortin-Hermann vorgeschlagen; derselbe reiht auf den blanken oder umsponnenen Leiter Perlen aus isolierendem Materiale auf und umgiebt einen oder mehrere der so hergerichteten Leiter mit einer ziemlich weiten Röhre, so dass die Luft oder die Flüssigkeit frei um die Leitung zirkulieren kann. Ein solches Kabel ist auf der Telephon-Linie Brüssel-Paris zur Verwendung gekommen.

Die dritte Art unterirdischer Leitungen erhält, da sie direkt in die Erde vergraben werden, gewöhnlich ausser der isolierenden Umhüllung noch einen besonderen Schutz durch Blei- und Eisenmäntel. Bei uns benutzt

man hauptsächlich sogenannte Bleikabel und legt dieselben ca. 0,6 m tief direkt in die Erde.

Eines grossen Renommees hinsichtlich dieses Fabrikationszweiges erfreuen sich in Deutschland die Firmen **Felten & Guilleaume** in **Mülheim a. Rh.** bei Cöln und **Siemens & Halske** in **Berlin**. Da die Patent-Bleikabel dieser beiden Firmen in Deutschland wohl fast ausschliesslich Verwendung finden, sofern es sich um die Leitungen grösserer Beleuchtungsanlagen resp. Zentralen handelt, so dürfte ein näheres Eingehen auf die Fabrikations- und Verwendungsweise dieser Kabel nicht uninteressant sein.

Das von der Firma Siemens & Halske zur Herstellung ihrer Patent-Bleikabel angewendete Verfahren*) besteht erstens in der Bespinnung des Leiters mit Jute oder Baumwollfaser von wechselnder Stärke, zweitens in der absoluten, unter Anwendung der Luftleere erzielten Trocknung der Bespinnung, drittens in der Tränkung der letzteren mit einer besonderen Isoliermasse, und endlich viertens in der auf kaltem Wege ausgeführten Umpressung der so erzeugten Isolierschicht mit einem vollkommen wasserdichten Bleimantel.

Das zur Zeit der Einführung der Patent-Bleikabel hier und da geäusserte Bedenken betreffs der Ausdauer des Bleis gegen die Einwirkung der chemischen Agentien im Erdboden, hat sich durch Dauerversuche als völlig unbegründet erwiesen. Es hat sich herausgestellt, dass

*) Auszugsweise aus einer uns vorliegenden Beschreibung dieser Firma.

schon die anfänglich angewendete Asphaltierung ein ausreichender Schutz der Bleihülle gegen derartige Einflüsse war; durch eine seit einiger Zeit von der Firma Siemens & Halske angewendete neue Asphaltmasse ist aber die Sicherheit noch bedeutend vermehrt worden, während die Gefahr der mechanischen Verletzung des Bleimantels, durch Verwendung des Bandeisens an Stelle des Eisendrahtes zur Armatur auf das denkbar geringste Mass zurückgeführt wurde.

Als Bestandteile der Patent-Bleikabel sind zu nennen:

1. der Kupferleiter,
2. die Isolationsschicht,
3. der Bleimantel,
4. die äussere Schutzhülle.

Die Kupferleiter werden entweder aus einem einzelnen Drahte als massive Leiter, oder aus mehreren Drähten als litzenförmige Leiter hergestellt. Die massiven Leiter werden in der Regel zu den Querschnitten bis 100 qmm (neuerdings bis 125 qmm) verwendet, zu den stärkeren bis zu 1000 qmm gehenden Querschnitten müssen ausnahmslos litzenförmige Leiter verwendet werden.

Die Patent-Bleikabel von Siemens & Halske mit Kupferleitern über 50 qmm führen in der äusseren Drahtlage des Leiters einen isolierten Mess- oder Prüfdraht. Diese Vorrichtung hat hauptsächlich den Zweck, die Spannungen an den Stellen, an welchen die Verteilungsleitungen an die Hauptleitungen sich anschliessen, zu

kontrollieren; ferner lässt sich aber auch nötigenfalls der Isolationszustand des Kabels damit prüfen.

Sämtliche zur Anfertigung der Kupferleiter verwendeten Kupferdrähte werden aus nahezu chemisch reinem Kupfer hergestellt und vor ihrer Verwendung einer sorgfältigen Prüfung auf Leitungsfähigkeit, Form, Gewicht u. s. w. unterzogen, so dass die Firma die Garantie für die Innehaltung des dem betreffenden Querschnitte entsprechenden Leitungswiderstandes innerhalb der statthaften Grenzen von 5% übernimmt.

Zur Bezeichnung der Patent-Bleikabel dienen in der Regel die den Querschnitt des Kupferleiters angebenden Zahlen, denen, je nach der Gattung der Kabel, gewisse Zeichen vorgesetzt werden. Da gewöhnlich für 1 qmm Kupferquerschnitt und 1000 m Länge ein Leitungs-Widerstand von 16,5 Ohm bei 0° C. garantiert wird, so ist es leicht, aus der Fabriknummer der Patent-Bleikabel den Leitungswiderstand derselben abzuleiten. Bei den Patent-Blei-Doppelkabeln, welche mit der die Summe der Querschnitte beider Leiter ausdrückenden Zahl bezeichnet werden, ist hiernach der sich aus dieser Zahl ergebende Leitungswiderstand mit zwei zu multiplizieren, um denjenigen der einzelnen Leitung zu finden.

Für den gewöhnlichen Bedarf stellt man sogenannte Normalquerschnitte auf, und die eine Abteilung solcher umfasst die Querschnitte von 1 bis 100 qmm, während die zweite Abteilung solche von 100 bis 1000 qmm enthält.

Die Isolationsschicht der Patent-Bleikabel wird in der bereits angedeuteten Weise hergestellt und durch

dieses Verfahren eine ebenso hohe als auch sichere Isolation erzielt, welche auch durch starke Temperatur-Veränderungen nicht leidet, so dass man die Patent-Bleikabel ebensowohl in siedendes Wasser als auch in Eiswasser legen kann, ohne deren Brauchbarkeit zu beeinträchtigen. In dieser Beziehung bietet die Isolationsart der Patent-Bleikabel einen wesentlichen, nicht zu unterschätzenden Vorteil gegenüber der Isolation durch Guttapercha oder Gummi, während sie in bezug auf Ladungskapazität der letzteren nicht nachsteht. Die Stärke der Isolationsschichten ist abhängig von den in bezug auf Spannung an die Kabel gestellten Ansprüchen, welche bereits bis zu 5000 Volt gestiegen sind.

Wenn aber auch die Patent-Bleikabel gegen Temperatureinflüsse unempfindlich sind, so wirken doch Nässe und Feuchtigkeit schädlich auf deren Isolation ein. Es muss daher die Isolationsschicht sorgfältig vor derartigen Einflüssen geschützt werden. Dieser Schutz wird durch den Bleimantel gewährt, welcher mittels kalter Pressung in dem Augenblicke, wo die Kabelseele aus der heissflüssigen Tränkmasse tritt, um die Isolationsschicht gelegt wird. Die Wandstärke des röhrenförmigen Bleimantels beträgt 0,5 bis 3 mm, je nach der Stärke des Bleikabels. — Ein Haupterfordernis ist die absolute Dichtigkeit des Bleimantels, denn die geringste Öffnung in denselben würde die übelsten Folgen für die Isolationsfähigkeit des Kabels haben. Jedes Patent-Bleikabel wird daher vor einer weiteren Verarbeitung bezw. Verwendung, gleich

nachdem es die Presse verlassen hat, unter Wasser gesetzt und so einer elektrischen Prüfung auf Isolation und Leitungswiderstand unterzogen. Fällt die Prüfung gut aus, so ist damit die vollkommene Dichtigkeit des Bleimantels erwiesen, da jede, auch die geringste Öffnung in demselben das Eindringen des Wassers in das Kabel und den sofortigen Niedergang des Isolationswiderstandes zur Folge hat.

Die Weichheit des Bleies und seine chemischen Eigenschaften bedingen, dass die Patent-Bleikabel, je nach den Örtlichkeiten ihrer Verwendung, mit einer entsprechenden Schutzhülle versehen werden müssen, weshalb dieselben in drei Formen geliefert werden:

1) als blanke Patent-Bleikabel, d. h. ohne jede Umhüllung;
2) als asphaltierte Patent-Bleikabel, d. h. mit einer Umhüllung, bestehend aus Umspinnung von geteerter Jute, die zwischen Asphaltlagen (deren erste direkt auf das Blei aufgetragen ist) gebettet ist;
3) als bandarmierte Patent-Bleikabel, bei welchen das blanke Kabel mit zwei zwischen Jute und Asphalt gebetteten Lagen Bandeisen umgeben ist.

Die Anordnung der Bandeisenlagen macht die Kabel keineswegs unbiegsam. Beide Eisenbänder legen sich mit gleichem Drall um das nach dem sub 2 beschriebenen Verfahren asphaltierte Bleikabel in offenen Spiralen, so

dass die eine Bandeisenlage die offenen Spalten der Umwindungen der unteren Bandeisenspirale deckt. Auf diese Weise bleibt die Armatur vollständig biegsam. Über die Bandeisenlagen wird wiederum ein Überzug von Jute und Asphalt gelegt, um einen rostsicheren Schutz für das Eisen zu erhalten. Der Vorzug dieser Armatur vor derjenigen aus Eisendrähten ist in die Augen springend, wenn man sich vergegenwärtigt, dass bei der letzteren zwischen je zwei Drähten stets eine, wenn auch noch so feine Ritze, also gewissermassen eine offene Stelle sich befindet, in die das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes ziemlich leicht stattfinden kann, während die Bandarmatur eine völlig geschlossene Umhüllung bildet, deren glatte abgerundete Oberfläche das Abgleiten eines Hiebes befördert. Das Eindringen eines spitzen oder scharfen Gegenstandes in die Bandarmatur ist fast unmöglich, wie durch Versuche erwiesen ist; denn es gelang nicht, durch von kräftiger und geübter Hand ausgeführte Hiebe mit der Spitzhacke, die Bandarmatur zu durchschlagen. Das Angeführte soll indessen nicht die Behauptung einschliessen, dass die Drahtarmatur vollständig zu verwerfen sei. Lokale Verhältnisse können die Anwendung der letzteren, entweder für sich allein oder in Verbindung mit der Bandarmatur, erforderlich machen. Es wird dies überall da der Fall sein, wo ein Kabel einer bedeutenden Zugkraft unterliegt, welcher gegenüber die Bandarmatur nicht als ausreichend erscheint.

Die Asphaltierung hat den Zweck, den Bleimantel und das Eisen vor der Einwirkung chemischer Agentien zu schützen, in befriedigendster Weise erfüllt.

Der Umstand, dass zu elektrischen Beleuchtungs-Anlagen zwei Leitungen, die eine für den Hingang und die andere für den Rückgang des Stromes, erforderlich sind, hat dazu geführt, beide Leitungen in einem Kabel zu vereinigen und somit „Patent-Blei-Doppelkabel“ zu konstruieren. Wie bei den einfachen Patent-Bleikabeln die Kupferquerschnitte zweier zusammengehöriger Kabelstränge gleich sind, so sind auch die beiden in einem Patent-Blei-Doppelkabel vereinigten Leiter elektrisch gleichwertig. Die beiden Leitungen sind konzentrisch angeordnet. Die innere Leitung erhält entweder einen massiven oder einen litzenförmigen Kupferleiter, die äussere besteht stets aus einer grösseren oder geringeren Anzahl spiralförmig um die Isolationsschicht der inneren Leitung sich legender Kupferdrähte. Man strebt dahin, den äusseren Leiter so zusammenzusetzen, dass die Drähte im Querschnitt einen geschlossenen Ring bilden, jedoch ist dies nicht in allen Fällen zu erreichen.

Wie die einfachen Patent-Bleikabel werden auch die Patent-Blei-Doppelkabel entweder mit oder ohne Prüfdrähte angefertigt, und es gelten hierbei für beide Kabelsorten die gleichen Grundsätze. Werden Prüfdrähte angewandt, so erhält jede Leitung einen solchen, und es muss dann selbstverständlich der innere Leiter ebenfalls litzenförmig sein. Auch in Bezug auf die Isolationsschichten gelten für die Patent-Doppelkabel die bei den

einfachen Kabeln üblichen Unterscheidungen, indem die Stärken der Isolierschichten den hinsichtlich der Spannung an die Kabel gestellten Anforderungen entsprechend gewählt werden.

Die Patent-Blei-Doppelkabel besitzen gegenüber den einfachen Kabeln gewisse, nicht unerhebliche Vorteile. Zunächst sind sie relativ billiger in der Herstellung, was besonders bei den asphaltierten und bandarmierten Kabeln zur Geltung kommt. Ferner ist das Gewicht eines Doppelkabels naturgemäss weit geringer als dasjenige zweier, das Doppelkabel ersetzender einfacher Kabel, wodurch sowohl die Verpackungs- als auch die Transportkosten wesentlich verringert werden. Auch vereinfachen die Doppelkabel die Verlegungsarbeiten, verringern deren Kosten und gewähren eine leichtere Übersicht der Leitungen eines Netzes.

Für elektrische Beleuchtungsanlagen mit Wechselstrombetrieb sind diese armierten Doppelkabel von vorzüglichem Werte, und zwar aus dem folgenden Grunde: Bei der Verwendung einfacher armierter Kabel wird auf die Eisenarmierung durch die Wechselströme ein beständiger magnetisierender Einfluss ausgeübt, und so durch die dabei erzeugte elektromotorische Gegenkraft ein so beträchtlicher Stromverlust herbeigeführt, dass die Eisenarmierung solcher Kabel als unzulässig erscheint. Bei den Patent-Doppelkabeln von Siemens & Halske kann jedoch eine derartige Magnetisierung gar nicht zu Stande kommen, und somit ist der Eintritt des bemerkten Übelstandes vollständig verhütet.

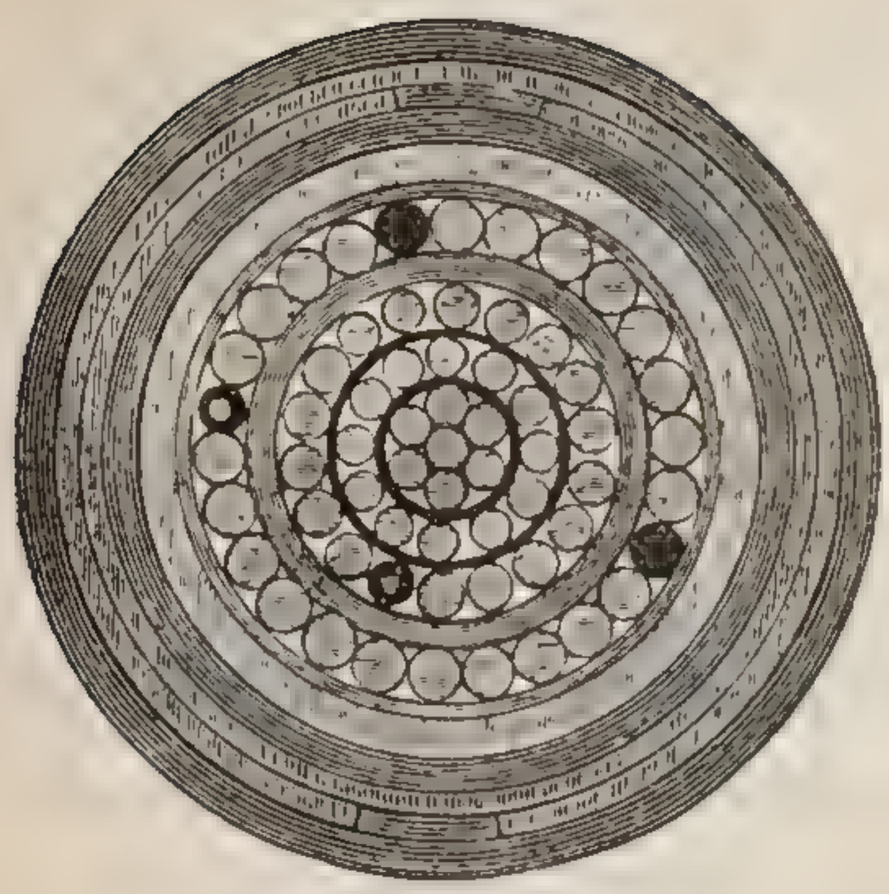


Fig. 59.

Hierin sowohl als in dem Umstand, dass keine Induktionswirkung durch etwa benachbarte Teile vorhanden ist, liegt der bedeutende Vorzug der konzentrischen Doppelkabel, deren Fabrikation bereits zu einer solchen Vollkommenheit gediehen ist, dass die Isolation unter Wasser bei Null Grad Temperatur 10,000 Millionen Ohm beträgt und man mit Sicherheit darauf rechnen kann, nach der Verlegung an Ort und Stelle unter Berücksichtigung der durch die Verbindungen hervorgerufenen Isolationsbeeinträchtigungen 1000 Millionen Ohm per Kilometer zu erreichen. Die Patent-Blei-Doppelkabel erweisen sich jedoch noch nicht für alle Fälle, welche bei Beleuchtungsanlagen vorkommen können, als ausreichend, indem das Bedürfnis sich geltend macht, ausserdem noch ein Kabel zur Verfügung zu haben, dessen Widerstand den verschiedenen jeweilig zu benutzenden Stromstärken angepasst werden kann. Für diesen Zweck hat man die Abteilungs- oder Sektionskabel konstruiert, wovon die beigefügte Fig. 59 den Querschnitt darstellt. — Diese als Patent-Bleikabel konstruierten Kabel können als dreifache von einem gemeinsamen Bleimantel umschlossene Doppelkabel angesehen werden, deren

Kupferquerschnitte sich wie 7 : 12 : 17 verhalten. Der Kern wird durch eine siebendrähtige Litze gebildet, welche von der nächsten, aus zwölf Drähten von gleichem Durchmesser wie die Kerndrähte bestehenden Lage isoliert ist. Um diese gleichfalls isolierte zweite Leitung gruppieren sich siebenzehn ebensolche Kupferdrähte und ein Prüfdraht. Diese drei Lagen bilden die inneren Leitungen, um deren Isolierungshülle die äusseren Leitungen sich dergestalt legen, dass der dieselben bildende Drahtkranz durch zwei isolierende Einlagen und einen Prüfdraht in drei Teile geteilt wird, deren Querschnitte beziehungsweise den Querschnitten des Kerns (oder der ersten Leitung) sowie der zweiten und dritten Leitung der inneren Abteilungen des Kabels gleichwertig sind. — Die Drähte der äusseren Leitungen werden gegen den das Ganze umgebenden Bleimantel isoliert. Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass durch verschiedenartige Parallelschaltung oder Einzelbenutzung der Abteilungen dieses Kabels sieben Abstufungen zu bilden sind, deren Leitungsfähigkeit zu einander in den Verhältnissen 36 : 29 : 24 : 19 : 17 : 12 : 7 stehen. Versuchskabel dieser Gattung sind bereits mit gutem Erfolg benutzt worden.

Sehen wir nun von dieser letzten Gattung ab, so erhalten wir folgende Zusammenstellung der bis jetzt gewöhnlich hergestellten Patent-Bleikabel:

I. Einfache Patent-Bleikabel, kurz „Patent-Bleikabel“ genannt, und zwar:

1) Patent-Bleikabel ohne Prüfdraht, blank, asphaltiert, bandarmiert;

a. für niedere Spannungen,

b. für mittlere Spannungen,

c. für hohe Spannungen.

2) Patent-Bleikabel mit Prüfdraht;

a. für niedere Spannungen,

b. für mittlere Spannungen,

c. für hohe Spannungen.

II. Patent-Blei-Doppelkabel, blank, asphaltiert, bandarmiert;

1) Patent-Blei-Doppelkabel ohne Prüfdraht;

a. für niedere Spannungen,

b. für mittlere Spannungen,

c. für hohe Spannungen.

2) Patent-Blei-Doppelkabel mit Prüfdraht;

a. für niedere Spannungen,

b. für mittlere Spannungen,

c. für hohe Spannungen.

III. Patent-Blei-Dreileiterkabel.

Es ist im Vorstehenden die Notwendigkeit hervorgehoben, die Isolierhülle der Patent-Bleikabel vor Feuchtigkeit zu schützen und gesagt worden, dass dies durch den Bleimantel erreicht wird. Da aber an den Enden der Kabel die Kupferleiter und die Isolierhüllen aus den Bleirohren heraustreten, so erhält die Feuchtigkeit an diesen Stellen freien Zutritt zu der Isolierschicht, wenn dieses nicht durch besondere Vorrichtungen verhütet wird.

Diese Vorrichtungen bestehen aus den Endverschlüssen, deren Konstruktion nach der Art der mit ihnen zu versehenden Kabel sehr verschieden ist. Über die Verwendungsweise der Endverschlüsse genügt für den vorliegenden Zweck eine allgemeine Übersicht. — Es lassen sich folgende Klassen unterscheiden:

1) Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht und mit massiven Leitern.

Dieselben sind aus vulkanisiertem Gummi hergestellt, und man kann an denselben drei Teile unterscheiden, nämlich:

a. denjenigen Teil, welcher den Kupferleiter umschliesst,
b. denjenigen Teil, der sich um das Blei legt und die Isolierhülle umgiebt, und
c. denjenigen unteren Teil, welcher über die Asphaltierung gezogen wird, und der bei den Endverschlüssen an blanken Patent-Bleikabeln fortfällt.

2) Endverschlüsse zu den Patent-Bleikabeln ohne Prüfdraht und mit litzenförmigen Leitern.

Bei diesen Endverschlüssen ist zu unterscheiden, ob dieselben für Kabel mit Kupferleitern unter 100, oder für Kabel mit Kupferleitern über 100 qmm Querschnitt verwendet werden sollen; diese Art von Endverschlüssen stellen Fig. 60 und 61 dar.

a. Die Endverschlüsse zu den Kabeln mit Kupferleitern unter 100 qmm Querschnitt (Fig. 60) bestehen aus einem verzinnten Messingrohr V von

65 mm Länge mit dem massiven, 100 mm langen cylindrischen Ansatze V' und einem 175 mm langen Gummischlauche G, welcher sich über das Messingrohr schieben lässt und dasselbe dicht umschliesst. Das Messingrohr, dessen

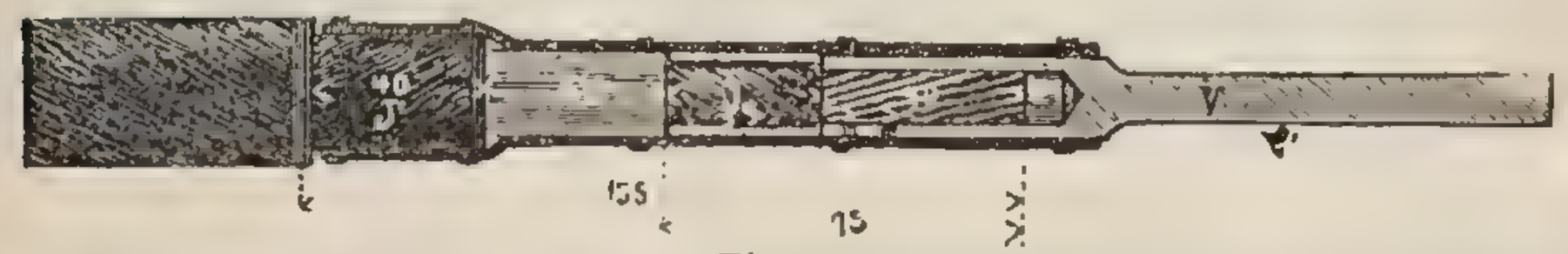


Fig. 60.

Wandungen mit vier spitzen Klemmschrauben S aus gehärtetem Stahl versehen sind, hat eine dem Durchmesser des betreffenden Kupferleiters entsprechende lichte Weite, während sein äusserer Durchmesser dem des betreffenden Bleimantels gleich ist. Die Bohrung des Rohres ist ca. 55 mm tief.

b. Die Endverschlüsse für Kabel mit Kupferleitern über 100 qmm Querschnitt (Fig. 61), wie sie z. B.

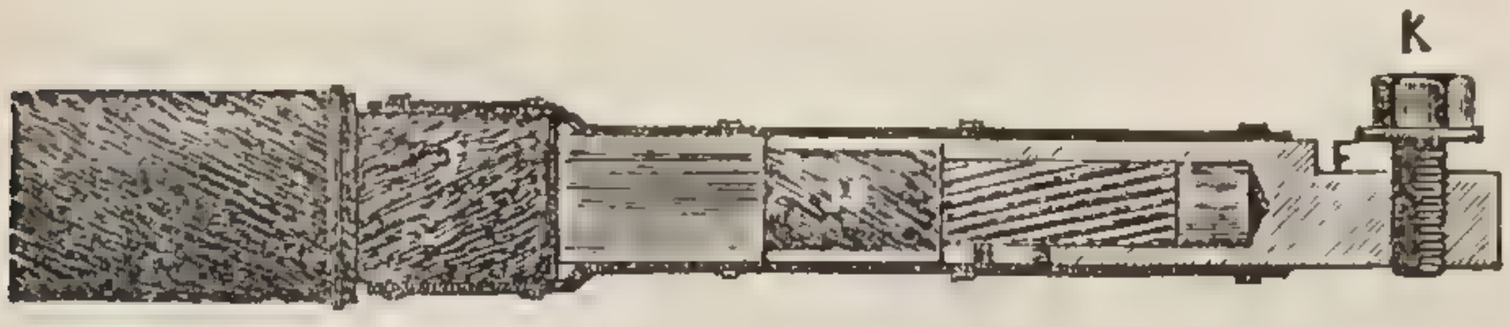


Fig. 61.

bei Abzweigungen verwendet werden, unterscheiden sich von den vorigen nur in der Form des Messingstückes V. Letzerem fehlt bei den Endverschlüssen zu Kabeln von über 100 qmm Kupferquerschnitt der oben erwähnte Ansatz V', an dessen Stelle hier die eingefräste, mit der Kopfschraube K versehene Fläche F tritt.

3) Endverschlüsse zu Patent-Bleikabeln mit litzenförmigen Leitern und mit Prüfdraht.

Auch bei diesen Endverschlüssen sind, wie unter 2, diejenigen für Kabel mit Kupferleitern unter und über 100 qmm Querschnitt zu unterscheiden:

a. Die Endverschlüsse zu Kabeln mit Kupferleitern unter 100 qmm Querschnitt (Fig. 62) setzen sich

Fig. 62.

aus den unter 2a erwähnten Teilen zusammen, zu denen noch ein Endverschluss G aus Gummi, wie unter 1 aufgeführt, hinzutritt. Das Messingstück V dieser Endverschlüsse unterscheidet sich indessen von demjenigen der unter 2a aufgeführten dadurch, dass der Ansatz V' zur Durchführung des Prüfdrahtes in der Richtung seiner Längsachse durchbohrt ist. Der Endverschluss G' dient dazu, die Feuchtigkeit von dem hervortretenden Prüfdrahte abzuhalten und die Dichtung von D bis B' zu bewirken.

b. Die Endverschlüsse zu Kabeln mit Kupferleitern über 100 qmm Querschnitt (Fig. 63) sind denen unter 2b aufgeführten ganz ähnlich, unterscheiden sich aber wesentlich dadurch, dass bei ihnen hinter der angefrästen Fläche F ein

kleiner Hartgummicylinder H eingesetzt ist, welcher die zum Einklemmen des Prüfdrahtes bestimmte Messingschraube S' isoliert und zur

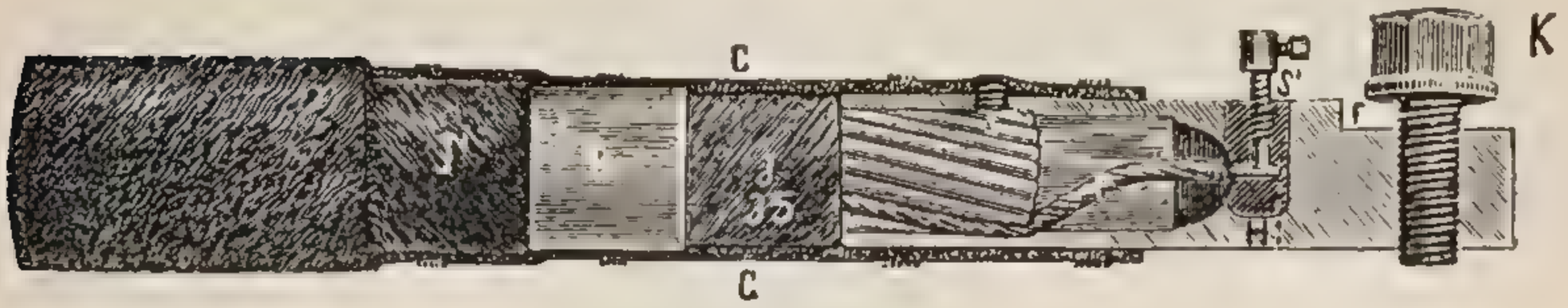


Fig. 63.

Aufnahme des Prüfdrahtleiters in der Achsenlinie des Messingstückes, also rechtwinklig zur Schraube S', eine über diese hinausgehende, aber an der entgegengesetzten Seite nicht austretende Bohrung hat.

4) Endverschlüsse zu Patent-Blei-Doppelkabeln mit massivem inneren Leiter (also ohne Prüfdraht). (Fig. 64).

Diese Endverschlüsse bestehen aus den durch Schrauben zusammengehaltenen Klemmbacken BB', welche

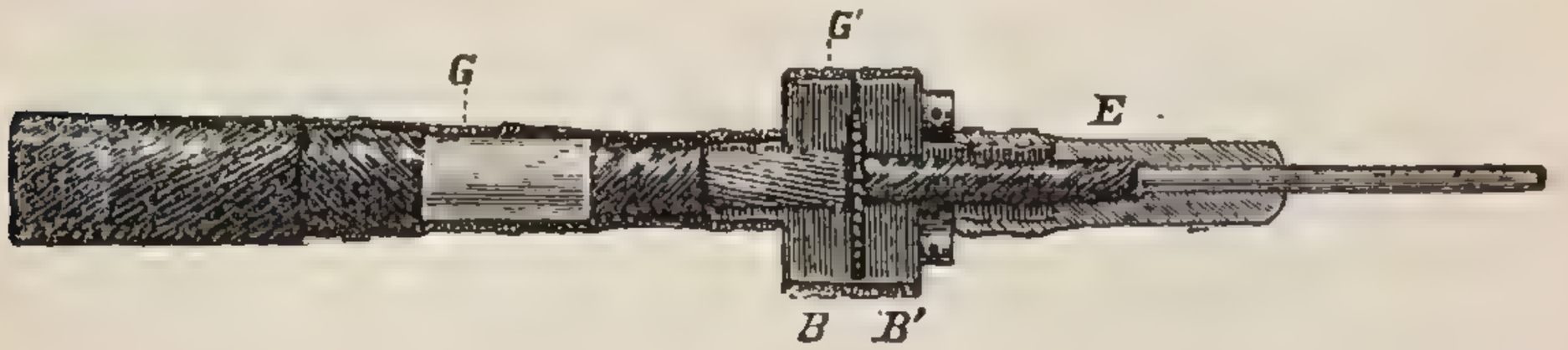


Fig. 64.

zur Aufnahme der äusseren Leitung dienen, ferner aus dem Gummischlauch G, welcher die Abdichtung zwischen B und dem Bleimantel bewirkt, dem Gummischlauch G', welcher den Eintritt der Feuchtigkeit zwischen B und B' verhindert, und endlich aus dem Endverschluss E, welcher

zur Abdichtung zwischen dem freigelegten Kupferleiter und der Klemmbacke B′ dient.

5) Endverschlüsse zu Patent-Blei-Doppelkabeln mit Prüfdrähten.

Dieselben bestehen nach Fig. 65 aus den Klemmbacken B und B′, von denen B mit der zur Aufnahme des

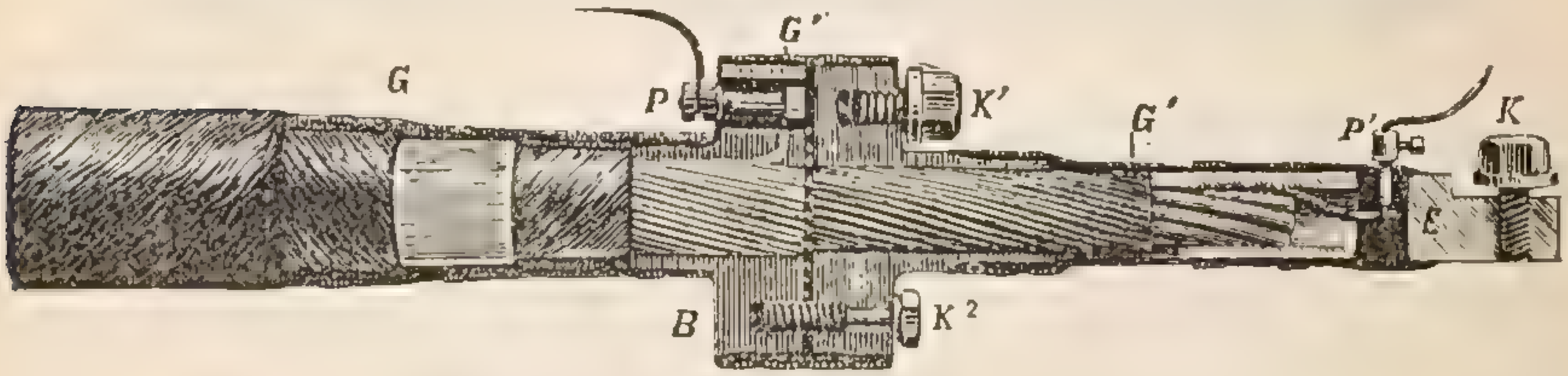


Fig. 65.

Prüfdrahtes der äusseren Leitung bestimmten Vorrichtung P versehen ist; aus dem Endverschluss E, welcher wie die unter 3b aufgeführten Endverschlüsse konstruiert und zur Aufnahme des inneren Leiters mit seinem Prüfdrahte bestimmt ist; aus dem Gummischlauch G zur Abdichtung zwischen Bleimantel und B; dem Gummischlauch G′ zur Abhaltung der Feuchtigkeit von BB′ und endlich aus dem Gummischlauch G″ zur Abdichtung zwischen E und B′.

Schliesslich sei noch des Endverschlusses erwähnt, wie er für Dreileiterkabel angewandt wird, also für solche Kabel, die aus drei von einander isolierten einzelnen Leitern bestehen. Die Anordnung derselben erfolgt gewöhnlich konzentrisch um den Mittelpunkt, so dass der Querschnitt des Kabels drei konzentrisch ineinanderliegende,

Fig. 66.

und durch Zwischenlagen von einander isolierte Leitungskreise zeigt.

Die Anbringung und Konstruktion des Endverschlusses für dasselbe ist aus Fig. 66 ersichtlich. —

Zur Verwendung der Patent-Bleikabel und Patent-Blei-Doppelkabel ist weiter erforderlich, die einzelnen Kabellängen leicht und sicher unter einander verbinden zu können. Hierzu dienen die ihrer Form wegen gewöhnlich „gerade Muffen“ genannten Verbindungsmuffen.

Es genügt an dieser Stelle eine Zusammenstellung der verschiedenen Gattungen dieser Muffen.

Die Muffen selbst, d. h. die gusseisernen Gehäuse, sind für alle Patent-Bleikabel — mit Ausschluss der Telephon- und mehradrigen Kabel für Telegraphenzwecke — der Form nach gleich und unterscheiden sich nur durch ihre von der Stärke der Kabel abhängige Grösse.

Der Hauptunterschied liegt in der Form und Grösse der zur Verbindung der Kupferleiter dienenden Klemmen,

so wie in der Anwendung oder Nichtanwendung der zur Verbindung der Prüfdrähte dienenden Prüfdrahtklemmen. Hiernach sind zu unterscheiden:

1) Gerade Muffen für Patent-Bleikabel ohne Prüfdraht.

2) Gerade Muffen für Patent-Bleikabel mit Prüfdraht. (Fig. 67.)

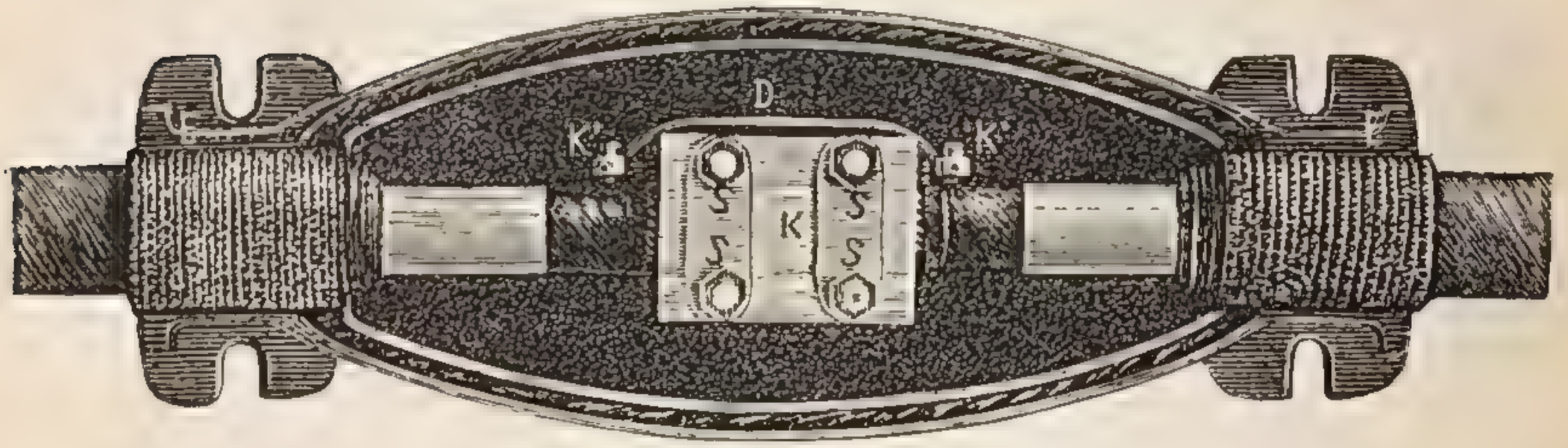


Fig. 67.

1) Gerade Muffen für Patent-Bleidoppelkabel ohne Prüfdrähte.

2) Gerade Muffen für Patent-Bleidoppelkabel mit Prüfdrähten. (Fig. 68.)

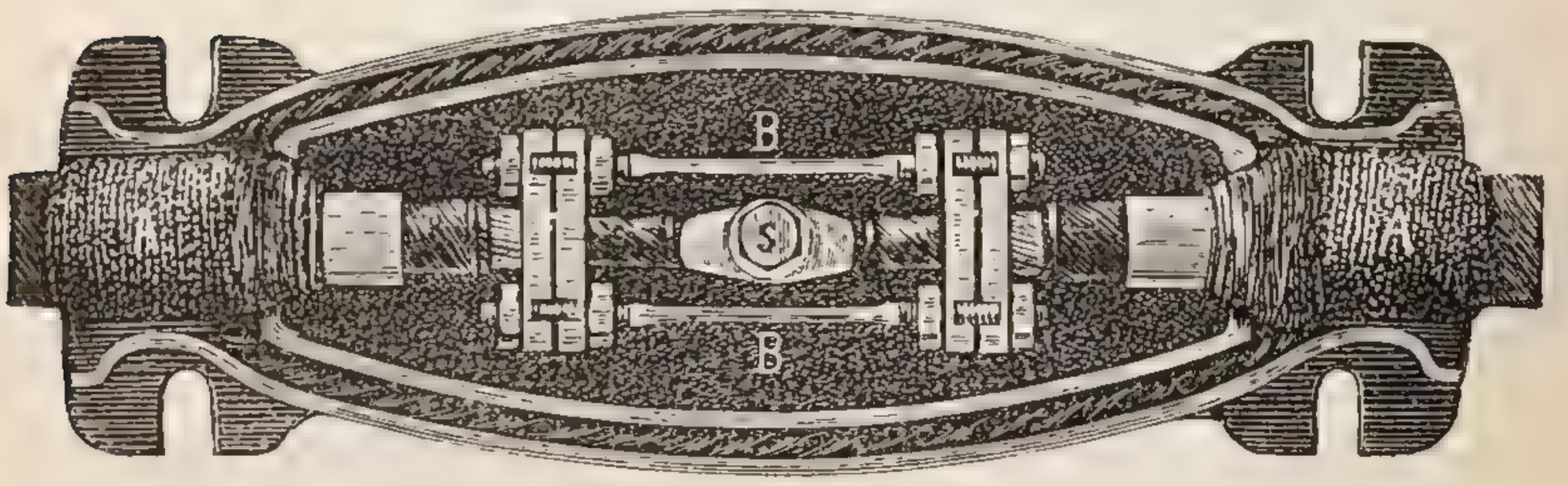


Fig. 68.

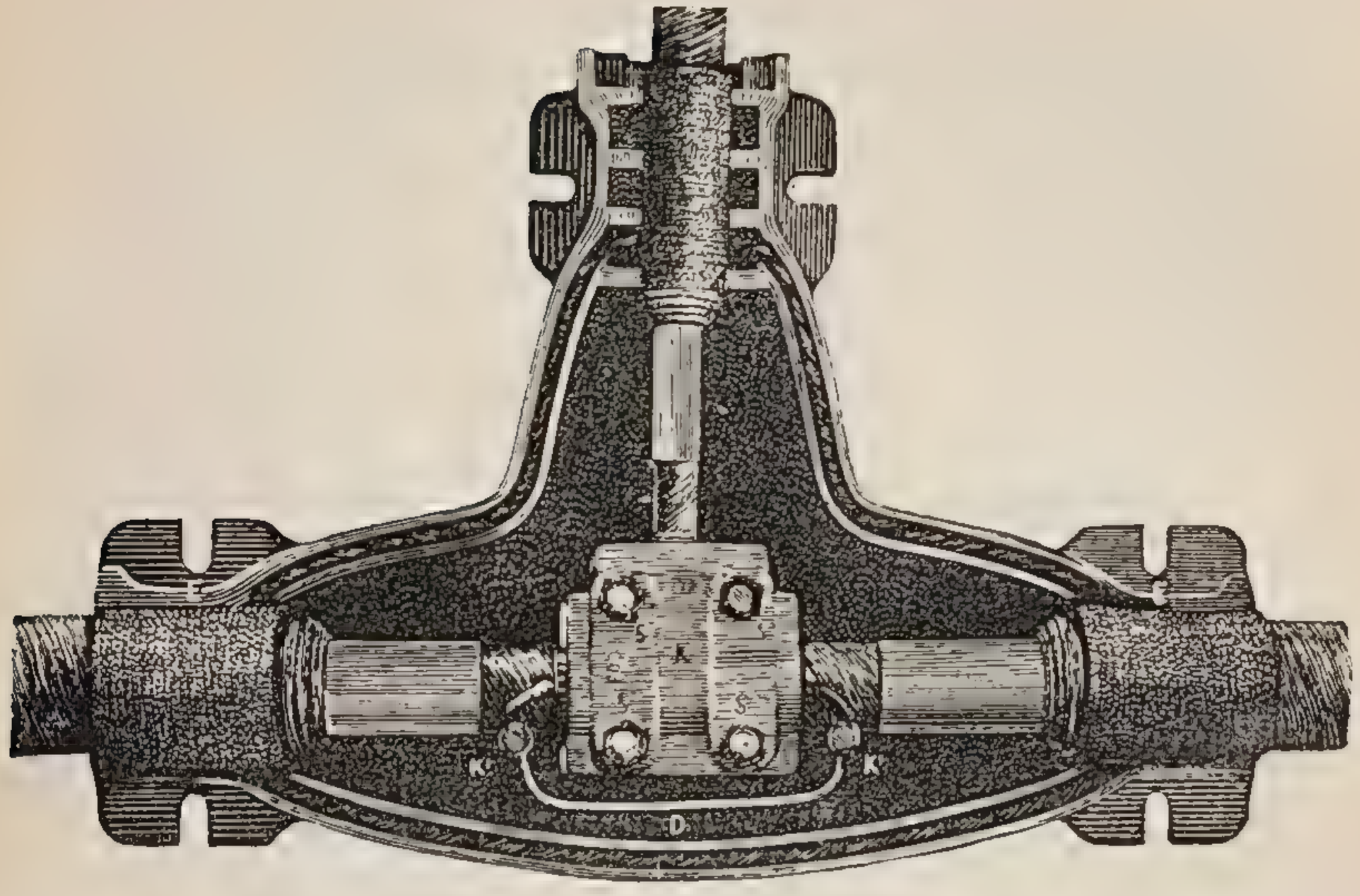


Fig. 69.

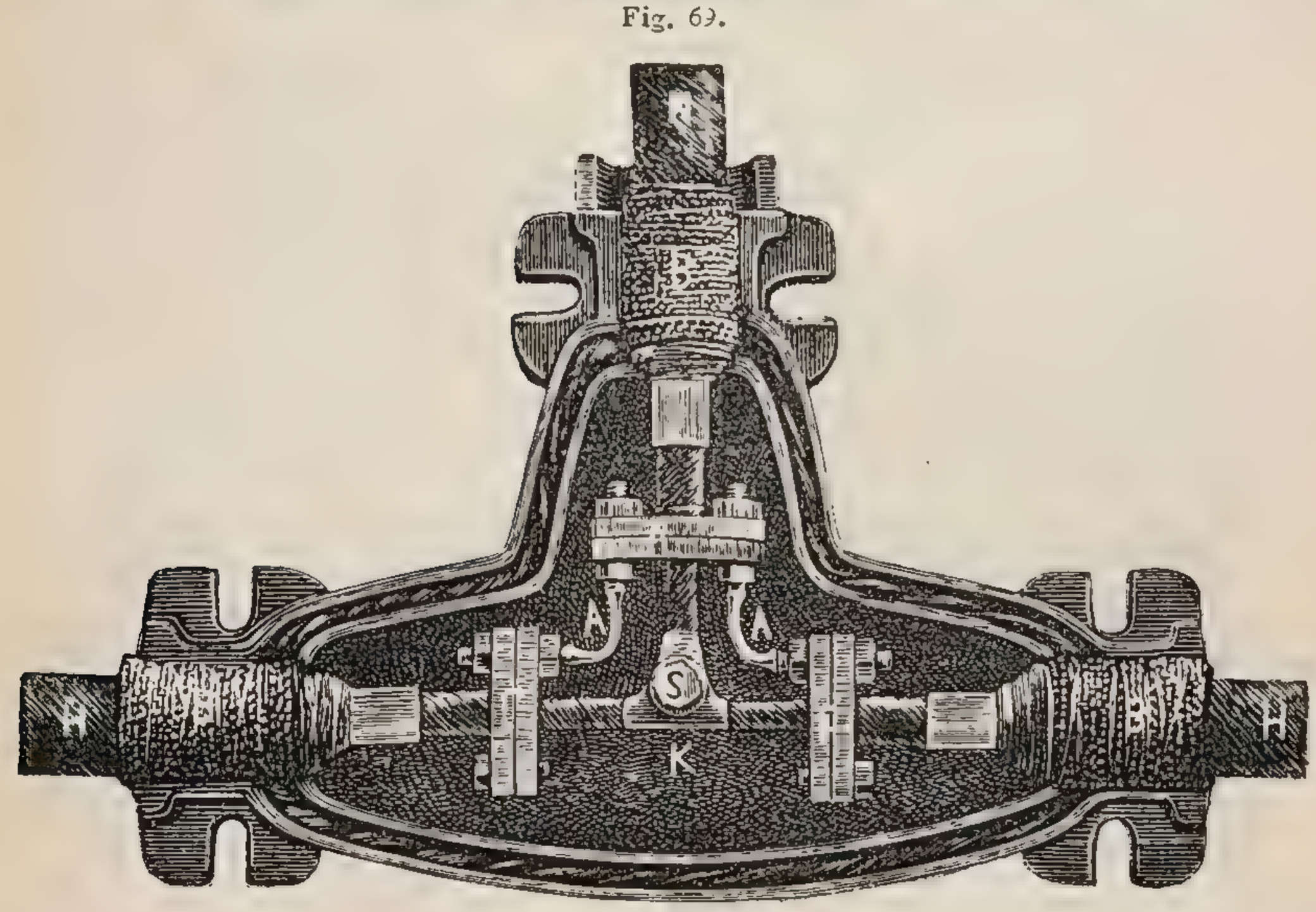


Fig. 70.

Ähnlich wie die geraden Muffen werden die T-Muffen eingeteilt, auf deren Verwendung wir noch zurückkommen, nur tritt bei den für die Patent-Blei-Doppelkabel gebrauchten T-Muffen die Trennung in Einschalte- und Abzweigungsmuffen ein, so dass folgende vier Arten mit ihren Unterabteilungen zu unterscheiden sind:

1) T-Muffe für Patent-Bleikabel ohne Prüfdraht, Fig. 69.
2) T-Muffe für Patent-Bleikabel mit Prüfdraht, Fig. 69.
3) T-Muffe für Patent-Blei-Doppelkabel ohne Prüfdrähte:

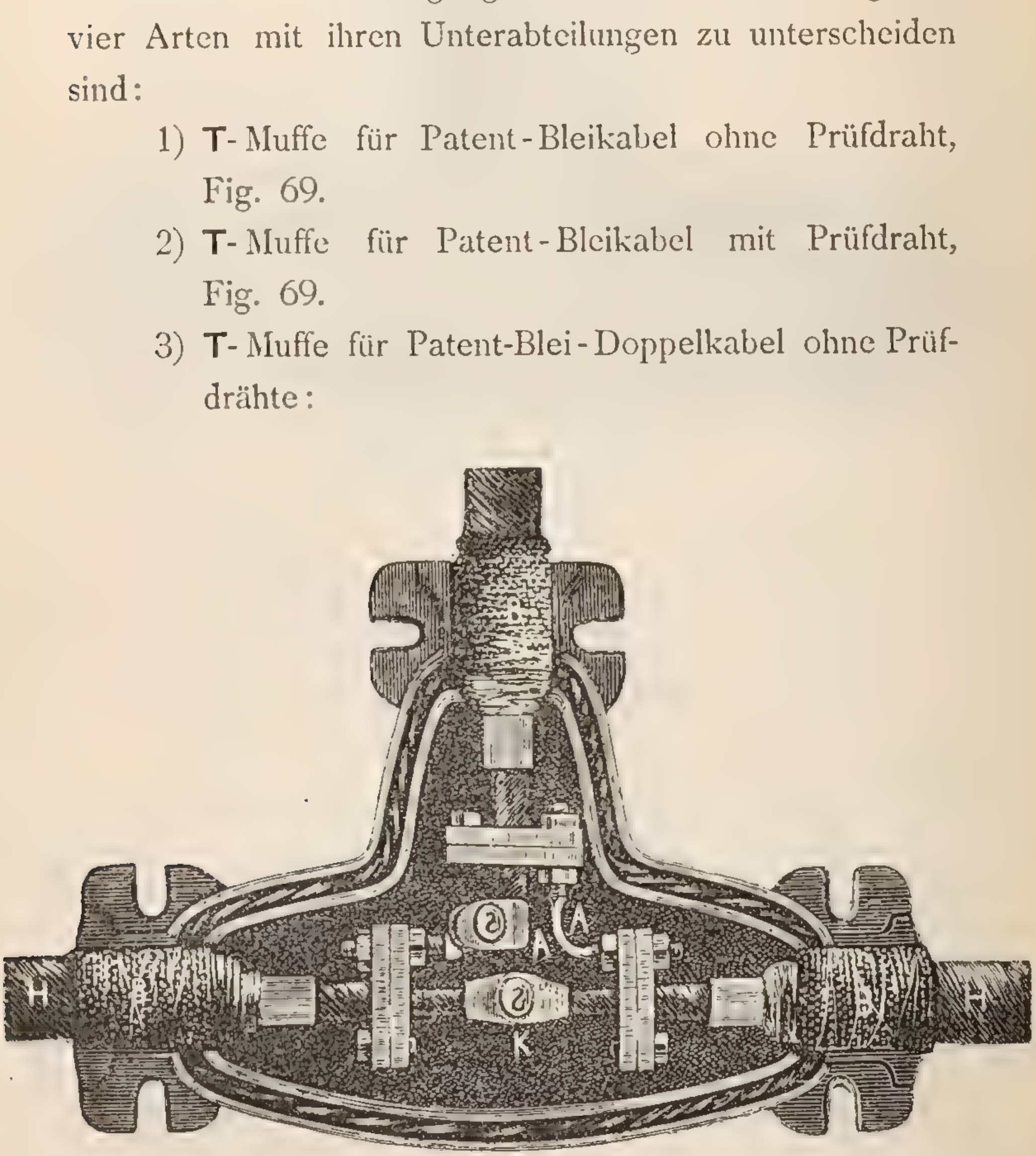


Fig. 71

a. als Abzweigungsmuffe verwendbar (Fig. 70),
b. als Einschaltemuffe verwendbar (Fig. 71);

4) T-Muffe für Patent-Blei-Doppelkabel mit Prüfdrähten:
a. als Abzweigungsmuffe verwendbar,
b. als Einschaltemuffe verwendbar.

Zu den angeführten Hilfsbestandteilen für die Leitungen kommen bei grösseren Beleuchtungsanlagen noch die Abzweig- und Verteilungskästen, welche fälschlich auch wohl Sammelkästen genannt werden. Von diesen Abzweig- resp. Verteilungskästen sind gebräuchlich:

1) Abzweigkästen für Patent-Bleikabel resp. Verteilungskästen für solche,
2) Abzweigkästen für Patent-Blei-Doppelkabel resp. Verteilungskästen für solche.

Ein solcher Abzweigkasten wird in den Fahrdamm der Strasse eingesetzt und mit einem Deckel verschlossen, wie dies auch z. B. bei den Kanalöffnungen eines städtischen Kanalsystems der Fall ist.

Fig. 72 zeigt einen Querschnitt der Mauerung und Einsteigeöffnung zu einem Verteilungskasten für unterirdische Leitungen.

Endlich sei es gestattet, bezüglich des Prüfdrahtes noch einige Bemerkungen anzufügen.

Der mehrerwähnte Prüfdraht ist ein Kupferdraht von 1 bis 1,5 qmm Querschnitt, der mit Jute- oder Baumwoll-Garn besponnen und im ersteren Falle mit

einer weitmaschigen Beklöppelung versehen ist. Die Stärke der Bespinnung ist abhängig von der Drahtstärke des Leiters, zu welchem der Prüfdraht verwendet werden soll, indem der äussere Durchmesser des letzteren ungefähr dem der nebenliegenden Drähte gleich sein muss.

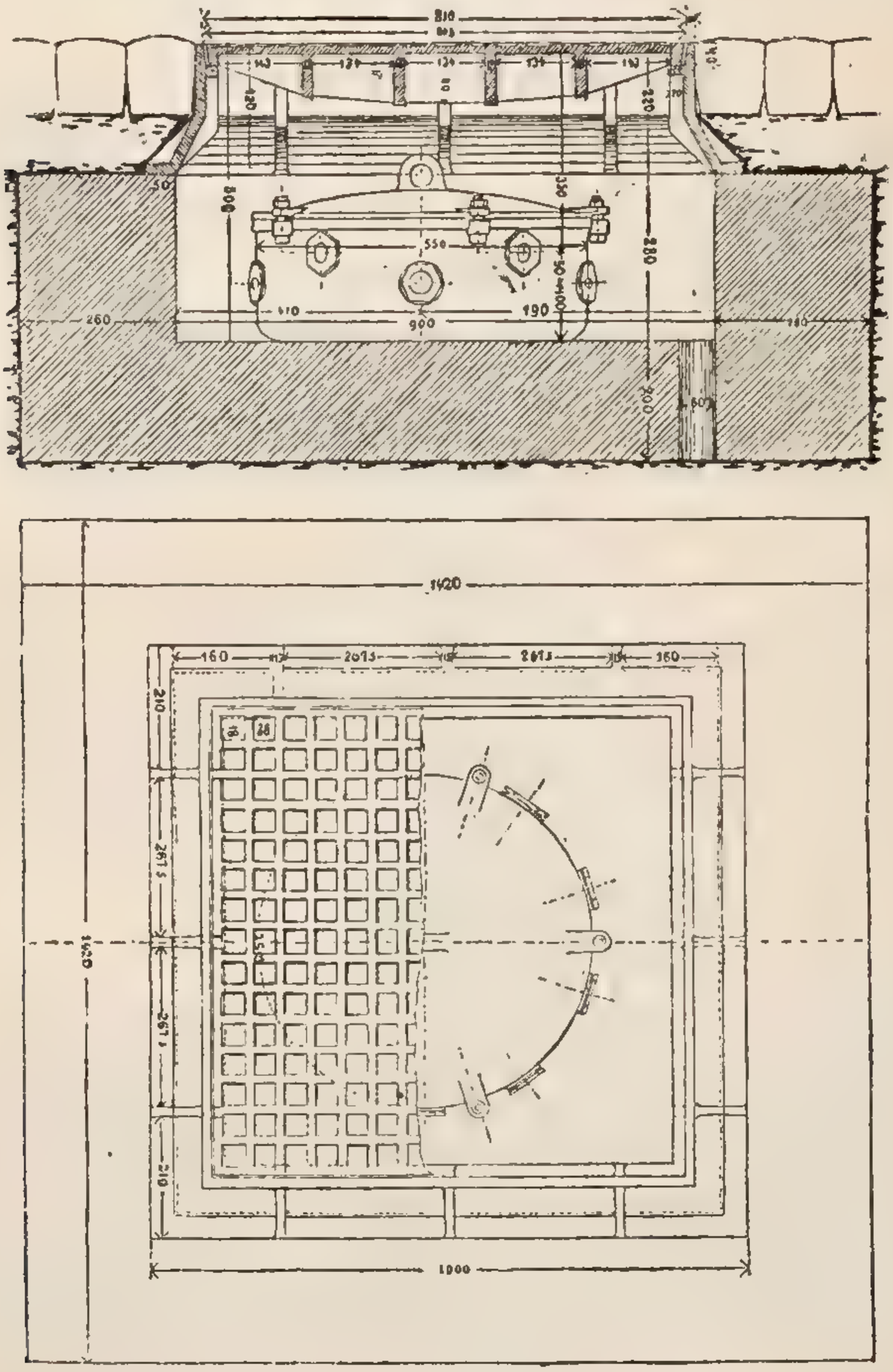


Fig. 72.

Die Bespinnung des Prüfdrahtes wird in gleicher Weise wie die der Kabelseele ausgeführt und hat daher auch die gleichen Eigenschaften. Es wird deshalb, wenn das Patent-Bleikabel an einer Stelle beschädigt wird und Feuchtigkeit in den Bleimantel eindringt, gleichzeitig mit der Isolation der Seele auch die Isolation des Prüfdrahtes heruntergehen oder gänzlich aufgehoben werden. Rückschliessend ergiebt sich, dass, wenn die Isolation des Prüfdrahtes eine entsprechend hohe ist, auch die des Kabels eine gute sein muss, da, wenn ein Patent-Bleikabel als gut aus der Fabrik ausging, bei der Fabrikation störende Ursachen also nicht einwirkten, Veranlassung zum Niedergang der Isolation nur Feuchtigkeit geben kann, sei es, dass dieselbe an den Kabelenden oder sonst an einer Stelle eingedrungen ist. In beiden Fällen wird aber die Isolation des Prüfdrahtes in Mitleidenschaft gezogen, und eine Prüfung dieser Isolation auch Aufschluss über das Verhalten der Isolation des Kabels selbst geben. Wenn eine Kabellinie geprüft werden soll, braucht man daher die Kabel selbst aus dem Stromkreise nicht auszuschalten, wie es ohne Prüfdrähte nötig sein würde, sondern es ist nur erforderlich, die Prüfdrähte blos zu legen, wozu die freien Kabelenden mit ihren Endverschlüssen, sowie die Verteilungskästen Gelegenheit bieten. Mit anderen Worten: es ist durch den Prüfdraht ermöglicht, eine Kabellinie auf ihre Isolation zu prüfen, ohne den Zusammenhang derselben aufheben zu müssen, wodurch wesentlich an Zeit gespart wird,

was in Bezug auf die mit einer solchen Prüfung verbundene Betriebsstörung (da diese Prüfung nur mit stromfreien Kabeln vorgenommen werden kann) von grösster Wichtigkeit ist.

Der Hauptzweck der Prüfdrähte ist aber, mit ihrer Hilfe die Spannung an bestimmten Stellen der Kabellinie leicht prüfen zu können. Die Prüfdrahtleiter werden zu diesem Zwecke an der zu untersuchenden Stelle mit dem Leiter des Kabels in Kontakt gebracht. Bei den Hauptkabeln der Berliner Zentralen z. B. geschieht dies dadurch, dass man in den Verteilungskästen die Klemme des Prüfdrahtes durch einen auf der Kupferverbindung festgeschraubten Draht mit letzterer verbindet und so die Verbindung zwischen Prüfdraht und Hauptleiter im Kabel herstellt; das andere Ende des Prüfdrahtes wird zum Galvanometer geführt, an dessen Ausschlag man die an der betreffenden Stelle der Leitung herrschende Spannung bemessen kann.

VI.

Nebenapparate.

Die Nebenapparate und Hilfsvorrichtungen, deren eine Zentralstation bedart, lassen sich in verschiedene Gruppen teilen.

Einer grossen Gruppe gehören diejenigen Apparate an, welche die Aufgabe haben, den Betrieb der Zentrale zu kontrollieren.

In erster Linie sind in derselben die Strommesser zu nennen. Die bekanntesten derselben mögen, soweit sie für Zentralstationen von besonderem Interesse sind, hier kurz erwähnt werden.

Eine Form, die zuerst von **Uppenborn** angegeben und auch für viele derartige Messinstrumente als Ausgangspunkt gedient hat, beruht auf der Wirkung des in einem weichen Eisenkern hervorgerufenen Magnetismus. Der zu messende Strom erregt einen Elektromagneten, welcher auf eine exzentrisch gelagerte Scheibe von weichem Eisen eine Drehung ausübt. Die Exzentrizität dieser Eisenscheibe ist durch ein kleines Gegengewicht ausbalanziert. Die Lagerung geschieht mit Stahlschneiden in Messingpfannen. Die Scheibe ist aus sehr dünnem Eisenblech ca. 1 mm stark gebildet und mit einem Übergewicht versehen, welches einen Aluminiumzeiger auf Null zu stellen trachtet. Die Empfindlichkeit kann

durch Verändern der Entfernung des Magnetes justiert werden. Sobald ein Strom durch die Spule des Elektromagnetes fliesst, wird der Aluminiumzeiger seine Nullstellung verlassen und sich um so mehr von derselben entfernen, je mehr die Stärke des Stromes zunimmt. Die Entfernung des Zeigers von der Nullstellung bildet also ein Mass des Stromes.

In den Strommessern von **Siemens & Halske** ist ebenfalls ein vom Strom umflossener weicher Eisenkern vorhanden, der an seinem obern Ende eine schräg angesetzte Eisenplatte trägt. Auf dieser steht mit einer messerartigen Schneide eine andere Eisenplatte, welche, da beide Eisenplatten durch die magnetisierende Stromwirkung gleichen Magnetismus bekommen, sich gegenseitig abstossen, und zwar entspricht die Abstossung der Stromstärke. Gleichzeitig mit Siemens & Halske hat auch **Scharnweber** die Abstossung gleichpolarisierter Eisenmassen zur Konstruktion von Strommessern benutzt.

Bei diesen Strommessern kann jedoch der remanente Magnetismus des Eisens zu Fehlern Veranlassung geben, sobald die Stromrichtung umgekehrt wird oder die Stromstärke grösseren Schwankungen unterliegt.

Eine auf der Einziehung von Eisenkernen in Solenoide beruhende Konstruktion ist der Strommesser von **F. Kohlrausch,** welchen **Hartmann & Braun** in **Frankfurt a. M.-Bockenheim** ausführt.

Es besteht dieser Strommesser aus einem Solenoid, in welches ein an einer Feder aufgehängter Kern ein-

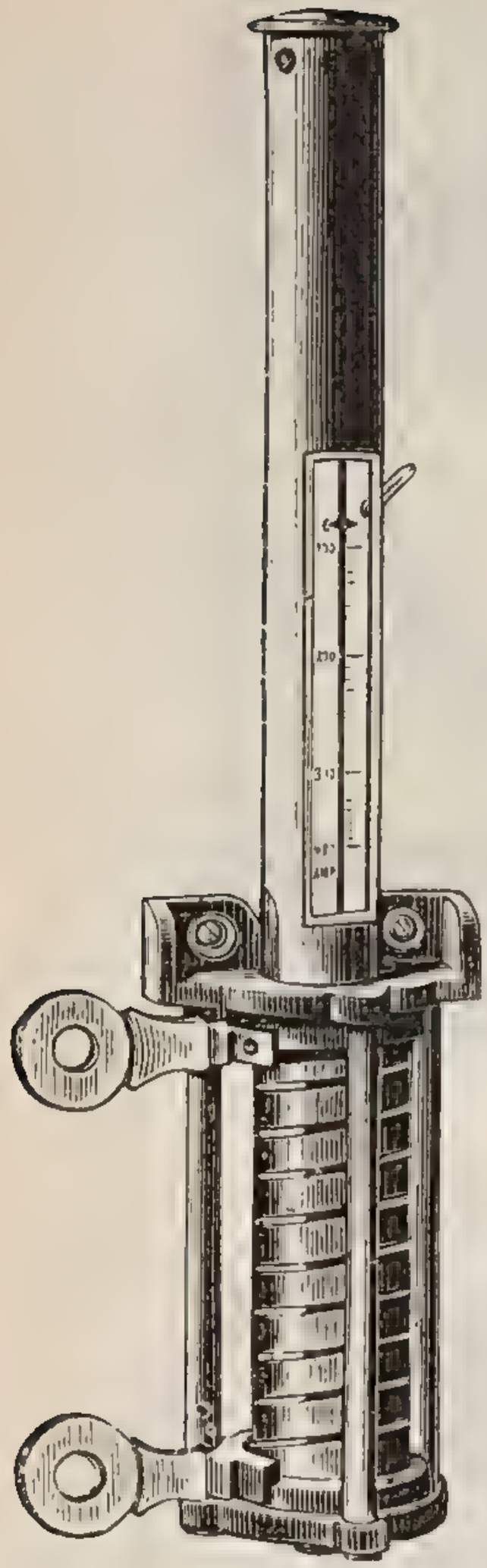


Fig. 73.

gezogen wird. Das Mass der Einziehung giebt die Stromstärke an.

Während bei den Instrumenten für geringere Stromstärke die Wicklung mit besponnenem Draht ausgeführt wird, besteht dieselbe bei Instrumenten für höhere Stromstärken aus einem spiralförmig aufgefrästen blanken Kupferrohre (Figur 73).

Eine andere Wirkung des Solenoids benutzt **Hummel** in seinen Strommessern, indem hier ein zur Mittelachse des Solenoids exzentrisch in Spitzen gelagerter sehr dünner Eisenblechzylinder, welcher einen Zeiger trägt, durch den Magnetismus des Solenoids gedreht wird. Dieser Strommesser wird von der Firma **Schuckert** in **Nürnberg** hergestellt.

Für starke Ströme wird statt des Solenoids in diesem Apparat nur eine Schleife aus einer starken u-förmig gebogenen Kupferstange benutzt (Fig. 74).

Auch **R. Alioth & Cie.** in **Basel** benutzen die Solenoidwirkung zur Konstruktion von Strommessern. Dieselben (Fig. 75) zeichnen sich wie die Schuckert'schen durch ihre kompendiöse und dabei handliche Form aus.

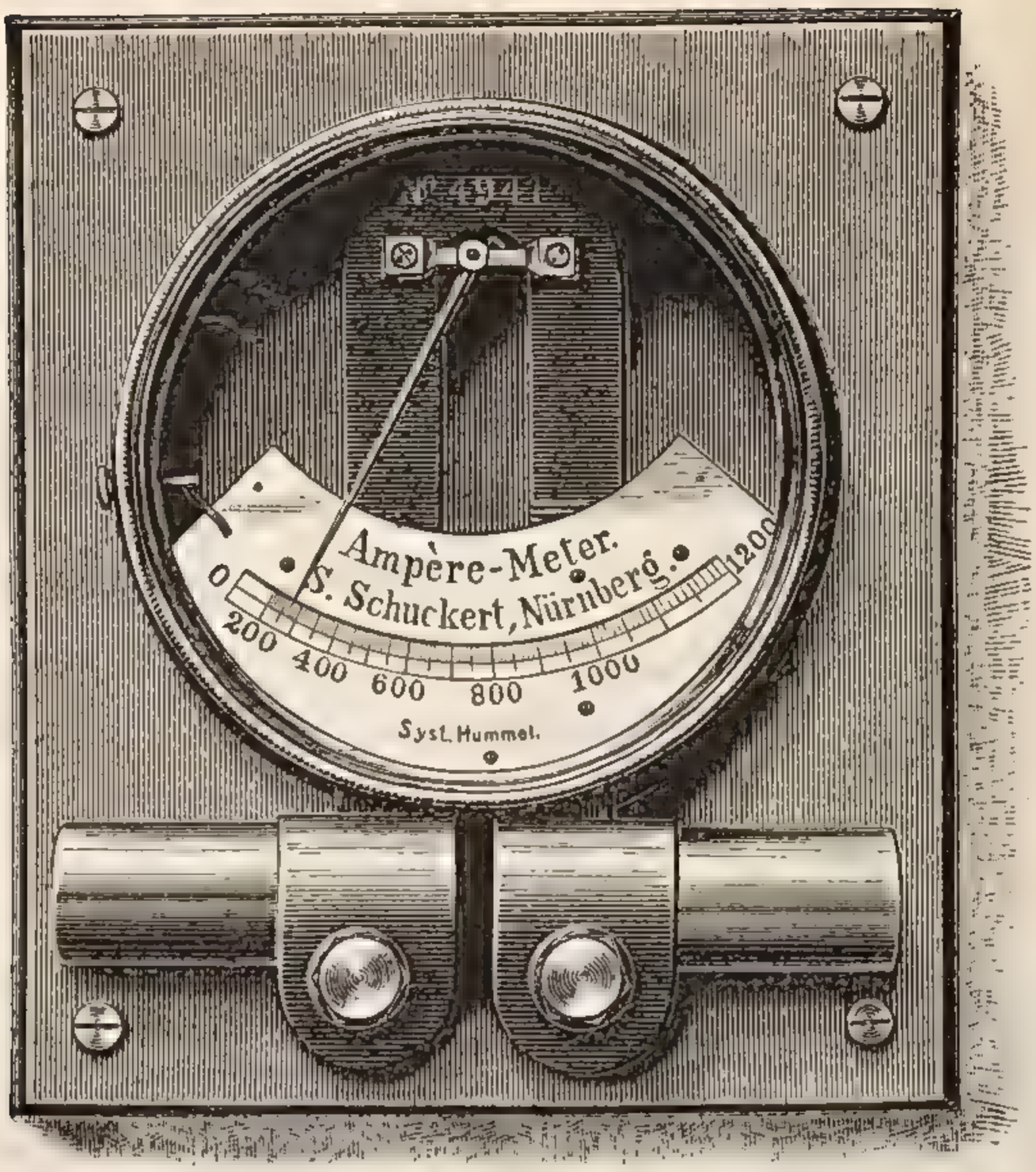

Ampère-Meter.
S. Schuckert, Nürnberg.
0
200
400
600
800
1000
1200
Syst. Hummel.

Fig. 74.

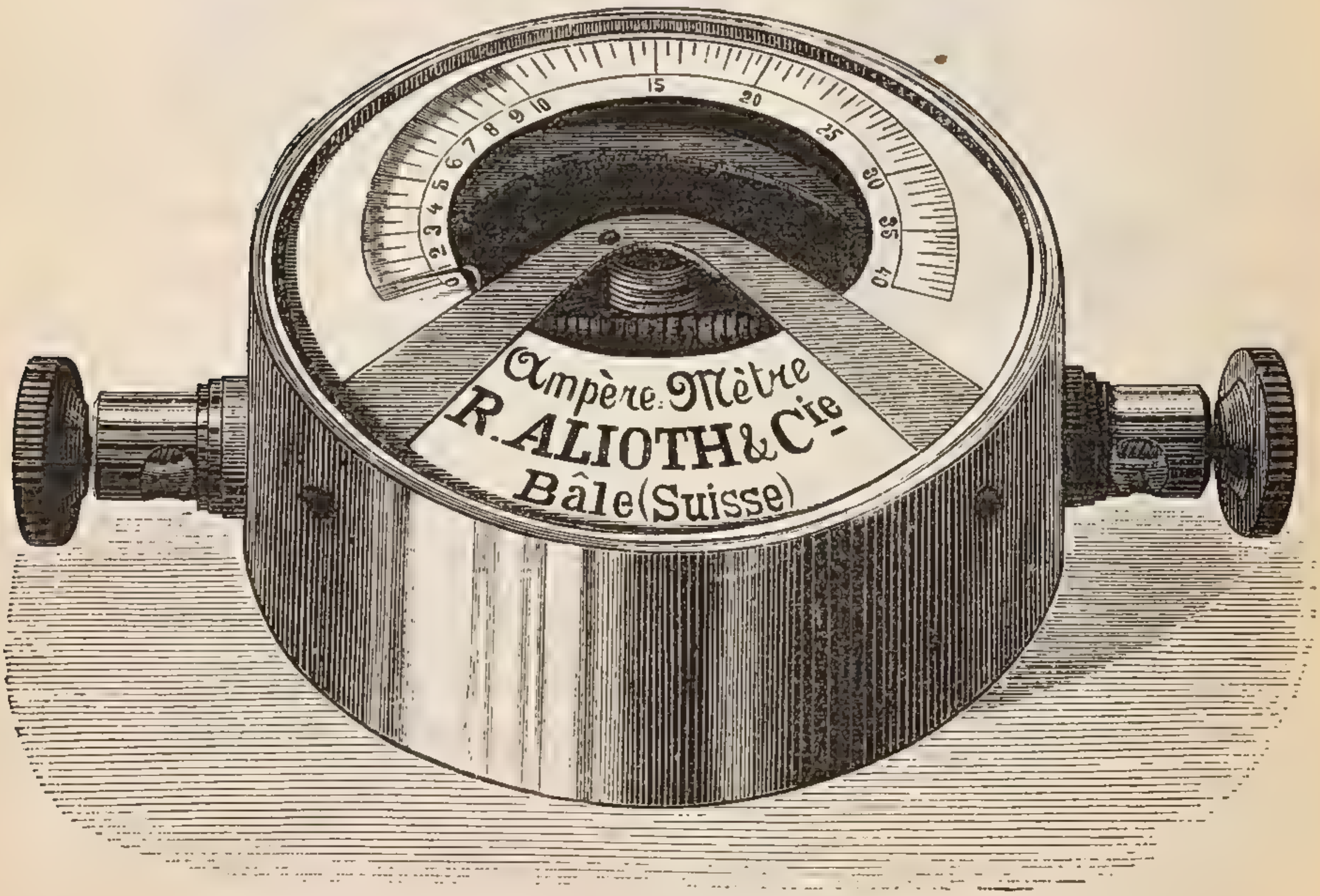

Ampère-Mètre
R. ALIOTH & Cie
Bâle (Suisse)

Fig. 75.

Eine auf dem Prinzip des Elektrodynamometers gegründete Konstruktion verwenden neuerdings **Siemens & Halske.**

Dieser Strommesser besteht aus einer durch wenige Windungen starken Kupferdrahtes gebildeten Spirale und einem mit vielen Windungen dünnen Drahtes bewickelten drehbaren Ringe, dessen Drehachse die vertikale Achse der dicken Kupferspirale rechtwinklig durchschneidet, und der etwa bis zur Hälfte seines Umfangs in diese Kupferspirale eingesenkt ist. Dieser Ring ist mit einem Zeiger verbunden, welcher auf einer in Ampère eingeteilten Skala spielt.

Der zu messende Strom geht durch die dicken Windungen, während der bewegliche Ring ähnlich wie eine Glühlampe parallel in die Leitung geschaltet wird. Durch die durch beide Stromkreise nun entstehenden magnetischen Felder wird eine der Stromstärke proportionale Drehung des Ringes hervorgerufen. Bleibt daher die Spannung gleich, so wird der Zeiger stets richtig die Ampère angeben, welche die Leitung durchfliessen. Der Apparat wird in drei Grössen ausgeführt bis zu 150, 300 und 500 Ampère.

Eine wichtige Rolle spielen die Strommesser beim Ein- und Ausschalten der Dynamomaschinen; sie ermöglichen dem Maschinisten stets zu sehen, wie viel Strom von der Zentralstation überhaupt abgegeben wird; darnach kann er beurteilen, ob die im Betriebe befindlichen Maschinen voll belastet sind oder nicht, ob also Maschinen ein- oder ausgeschaltet werden müssen.

Am vorteilhaftesten verwendet man zu diesem Zwecke einen sogenannten Lampenzähler; eine recht einfache und brauchbare Anordnung desselben ist in den Zentralen der **Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft** in **Berlin** in Gebrauch. Wir geben im Folgenden eine kurze Erklärung desselben.

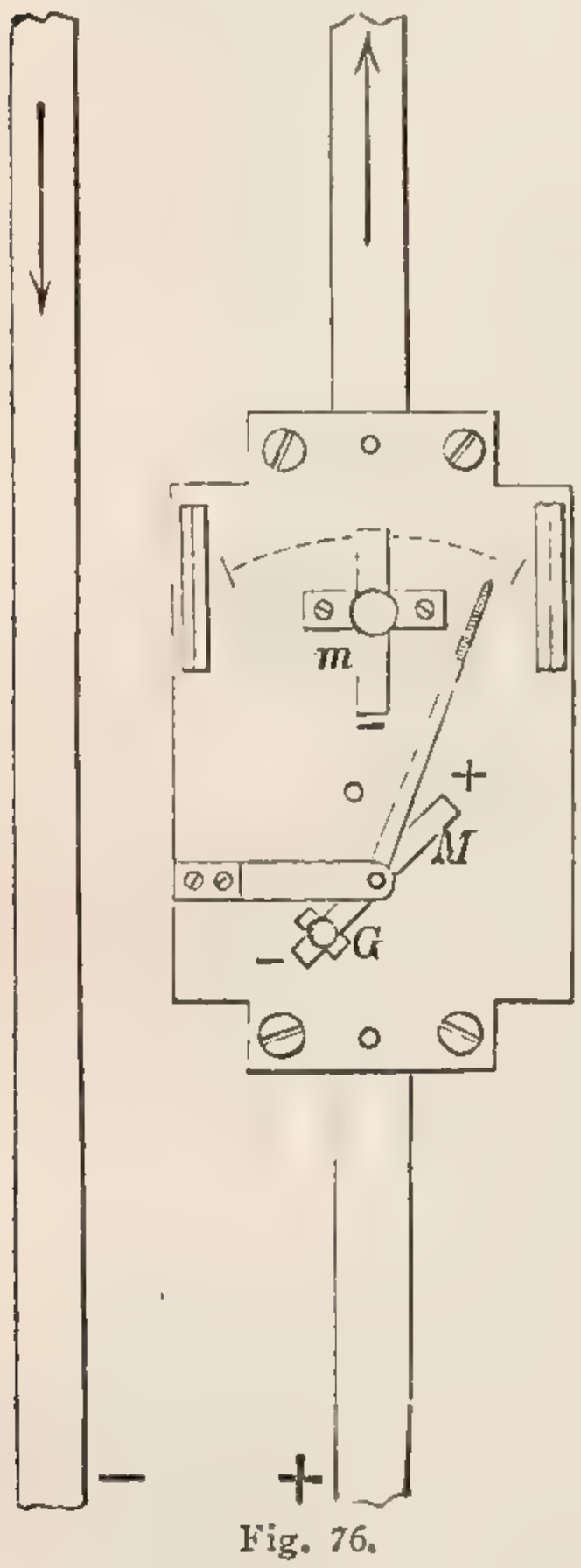


Fig. 76.

Er besteht im wesentlichen aus einer einfachen Magnetnadel M, Fig. 76, welche vor der Hauptleitung um eine Achse drehbar befestigt ist und von dem Strome je nach seiner Stärke mehr oder weniger abgelenkt wird, während ein verschiebbares Gewicht G und ein fester Magnet m die Nadel in ihre ursprüngliche Lage zurückzubringen sucht. Ein derartiger Strommesser gestattet, die grössten Stromstärken sowohl wie auch schwache Ströme mit der nötigen Genauigkeit zu bestimmen. Derselbe wird, um die Einflüsse in der Maschinenstation mit zu berücksichtigen, an der Stelle selbst, wo er zur Verwendung kommen soll, geaicht. Dies geschieht nach Lampen und nicht nach Ampère. Der Maschinist schaltet zum Zweck der Aichung einfach 10, 20, 100, 200, 500, 1000 etc. Lampen bei Konstanterhaltung der Klemm-

spannung ein und bezeichnet auf der Skala die Stelle, an welcher der Zeiger sich bei der betreffenden Lampenzahl befindet.

Durch Verschieben des Magnetes und des Gewichtes ist es möglich, diese empirische Teilung ziemlich proportional zu erhalten, und es ist ein Vorzug eines solchen Apparates, dass seine Angaben stets genau vom Maschinisten kontrolliert werden können.

Wird nun durch den Lampenzähler angezeigt, dass die im Betriebe befindlichen Maschinen voll belastet sind, so muss er eine neue Maschine zuschalten, und zwar thut er dies in der Weise, dass er dieselbe zuerst auf eine Lampenbatterie oder einen entsprechenden Widerstand schaltet und dann, wenn sie genügend belastet und auf gleiche Spannung gebracht ist, auf das Leitungsnetz umschaltet. Auf diese Art wird ein Zucken der Lampen vermieden, welches sonst beim plötzlichen Einschalten unvermeidlich wäre. —

Während des Betriebes muss stets darauf geachtet werden, dass die Spannung an den Verteilungspunkten des Leitungsnetzes einen konstanten Wert behält. Hierzu dienen die Spannungsmesser.

Dieselben sind meist nach demselben Prinzip konstruiert wie die Strommesser, nur besitzen sie eine Wicklung mit dünnem Draht. Ihre Schaltung geschieht parallel zu dem Leitungskreis.

Ein in letzterer Zeit häufig verwendeter Spannungsmesser ist ein verbessertes Instrument der Firma

Hartmann & Braun (Fig. 77). Dasselbe ähnelt im äusseren Ansehen den bekannten Schuckert'schen Apparaten.

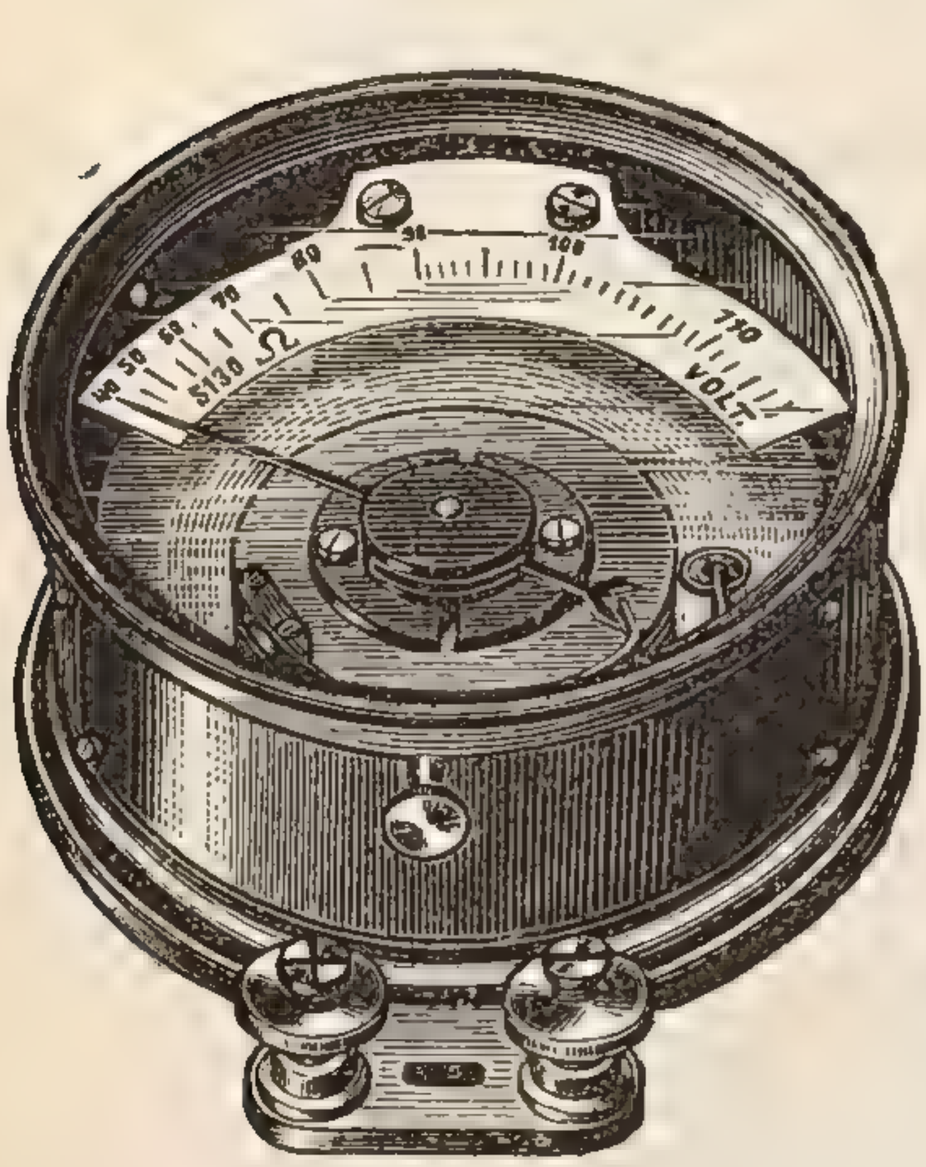


Fig. 77.

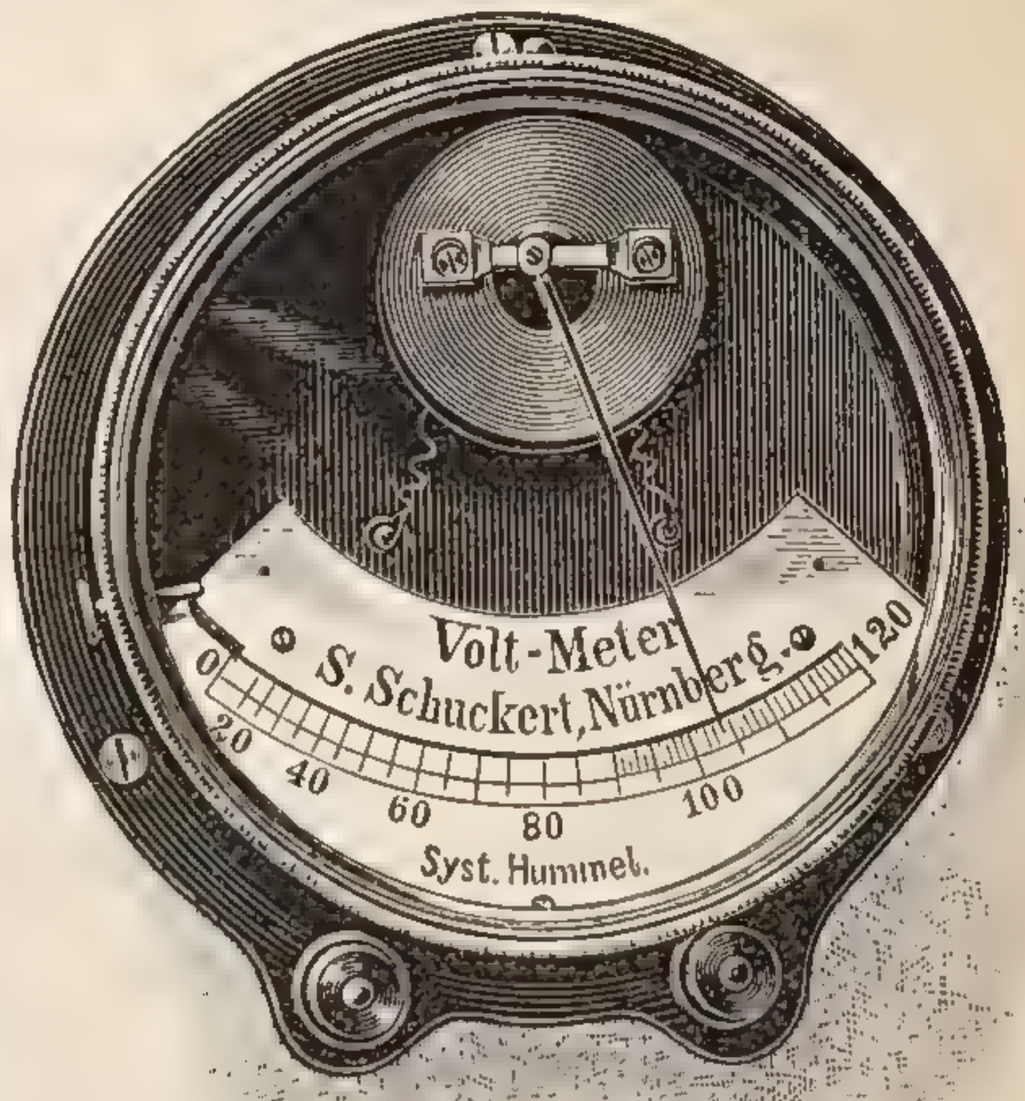


Fig. 78.

In einem Solenoide befinden sich zwei konaxiale Zylindermantelsegmente aus dünnem, weichem Eisenblech, von denen das eine fest, das andere um die Zylinderachse drehbar ist. Als Kraft, welche der gegenseitigen Anziehung bezw. bei geeigneter Lagerung der Abstossung der beiden Eisenbleche entgegenwirkt, dient das Gewicht des beweglichen Bleches.

Die Wicklung ist so eingerichtet, dass in dem Gebrauchsintervall des Apparats die Teilstriche möglichst gleichmässige Abstände haben.

Der neue **Uppenborn'**sche Strom- und Spannungsmesser besteht aus einer Spule und zwei oder mehreren

Zylindermantelabschnitten aus Eisenblech, deren Grössen und Längenverhältnisse sehr verschieden sein können. Einer der Abschnitte ist innerhalb der Spule mit dem Zeiger und einem Gegengewicht verbunden, und steht unter der Einwirkung der einen oder andern Eisenteile, die entweder in der Spule oder ausserhalb sich befinden.

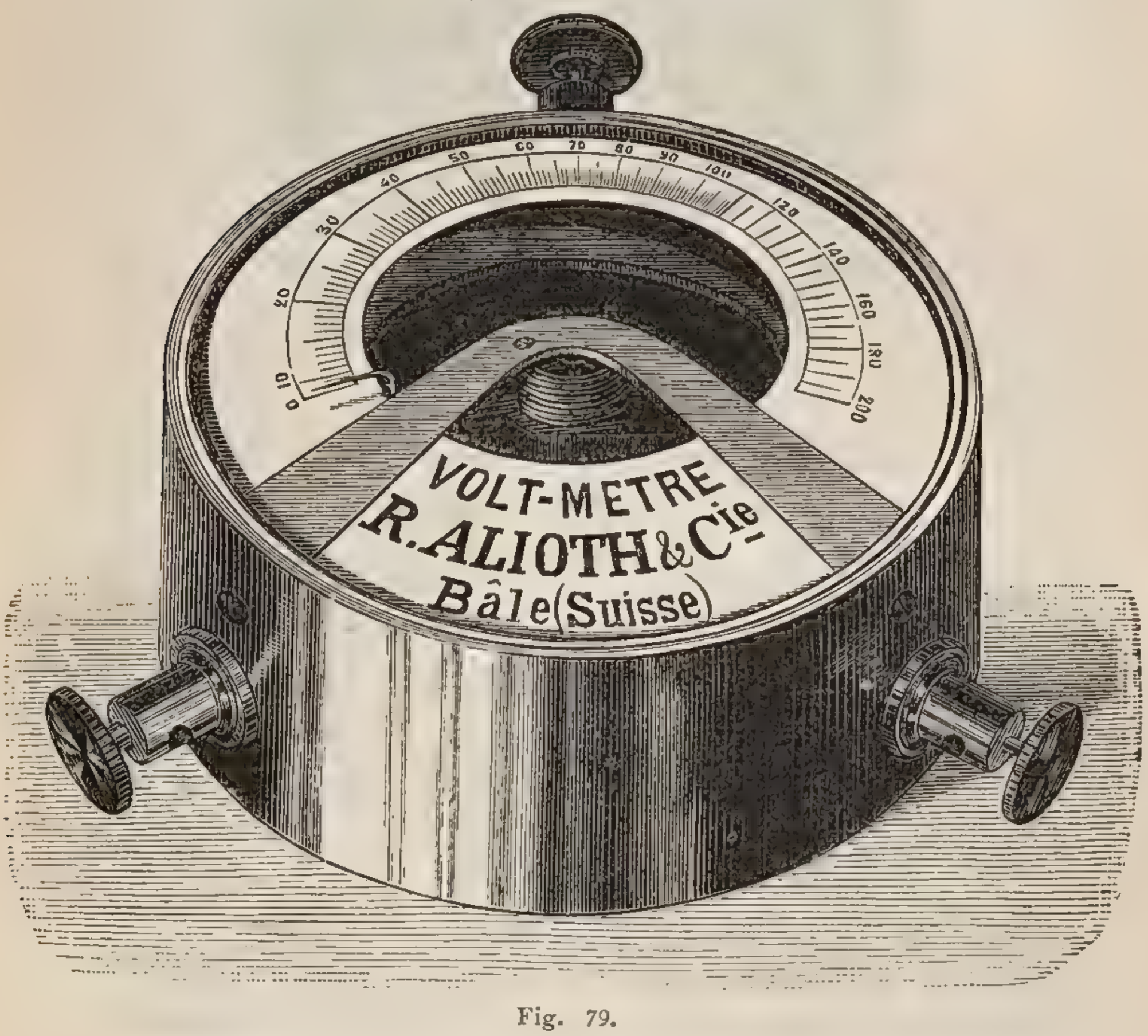


Fig. 79.

Dieser Spannungsmesser ist sehr empfindlich und zeigt eine sehr gleichmässige Skala an den Verbrauchswerten.

Figur 78 giebt uns eine Ansicht des bekannten **Schuckert**'schen Spannungsmessers (System Hummel)

und Figur 79 veranschaulicht die den ersteren ähnlichen Spannungsmesser, welche **R. Alioth & Cie** mit vielem Erfolg in ihren Anlagen benutzen.

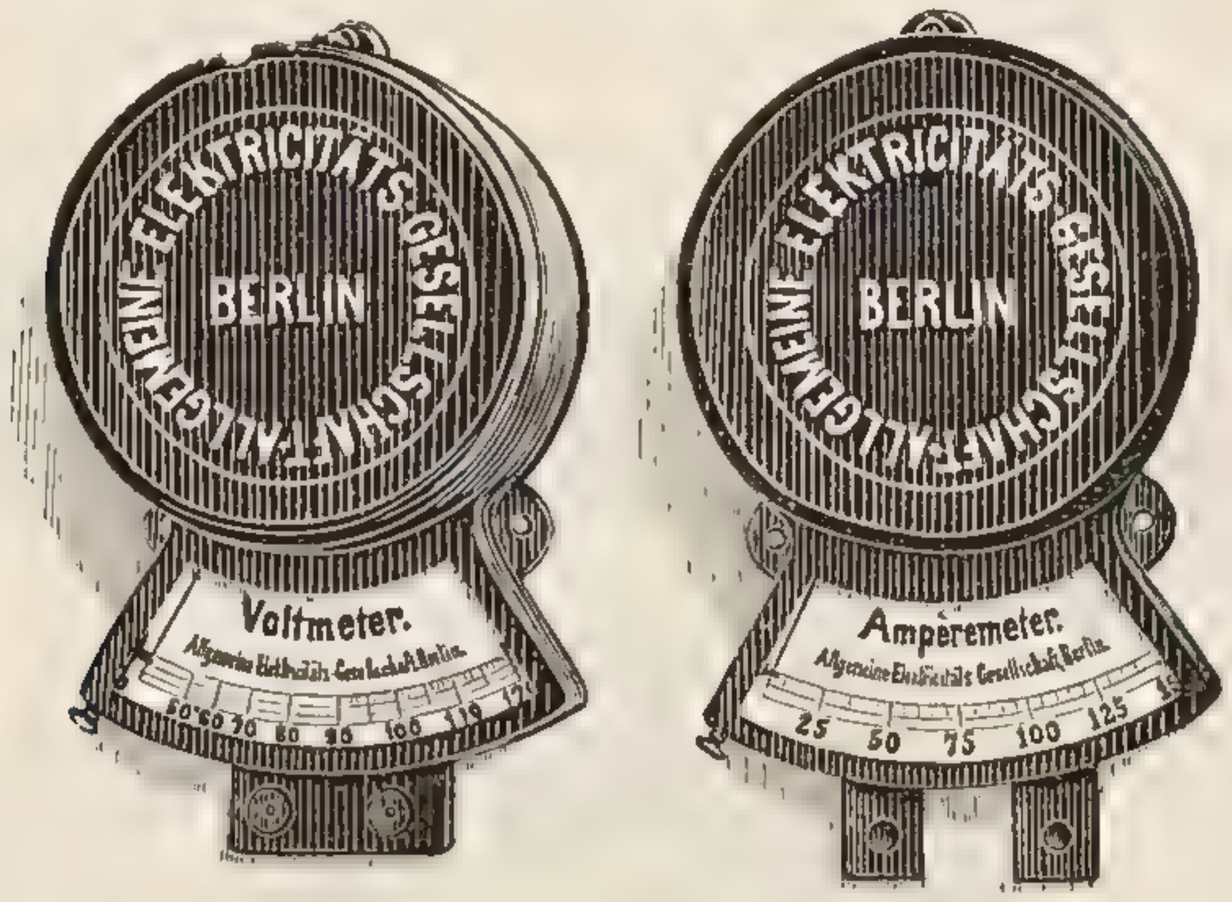


Fig. 80.

Erwähnung verdienen auch die neuen Strom- und Spannungsmesser der **Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin** (Fig. 80). Das Konstruktionsprinzip derselben ist die gänzliche Beseitigung von Stahlmagneten und die Beschränkung des weichen Eisens auf die geringsten notwendigen Mengen; ein verhältnismässig grosses Solenoid, zum grössten Teil mit Neusilberdraht bewickelt, wirkt auf ein an einer Achse senkrecht zur Achsenrichtung des Solenoids drehbar befestigtes, mit der Achse selbst aber einen gewissen Winkel bildendes Bündelsystem von sehr dünnen Eisendrähten, die je nach dem Zwecke, dem das Instrument dienen soll, ob als Strom- oder als Spannungsmesser, ob eine möglichst grosse, gleichmässige Teilung der Skala in der Nähe einer bestimmten Volt- resp. Ampèrezahl er-

wünscht ist, oder ob die Teilung über die ganze Skala möglichst proportional sein soll, verschiedene Länge, Zahl und Anordnung haben. Schon der geringste in der Spule kreisende Strom vermag das Bündelsystem magnetisch zu sättigen, und die kleinsten Schwankungen in Strom und Spannung bringen bei richtiger Anordnung der Eisendrähte verhältnismässig grosse Ausschläge des Zeigers hervor.

Da die Konstanterhaltung der Spannung eine der Haupterfordernisse des guten Funktionierens einer Zentrale ist, der Maschinist aber unmöglich fortwährend den Spannungsmesser im Auge behalten kann, eine plötzliche Änderung der Spannung aber nie ausgeschlossen ist, so ist man darauf bedacht gewesen, Vorrichtungen zu treffen, welche bei eintretenden Spannungsänderungen sofort die Aufmerksamkeit des Maschinisten erregen. Dazu dienen besonders die Spannungsmesser mit optischer und akustischer Signalgebung.

Zu derartigen Apparaten können nur Spannungsmesser verwendet werden, deren schwingende Masse eine erhebliche Trägheit und gute Dämpfung besitzt, da sonst der Zeiger nicht genügend Kraft besitzt, um die bei diesen Apparaten nötigen Kontakte sicher herzustellen.

Die **Berliner allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft** verwendet zu diesem Zwecke einen Spannungsmesser von Siemens & Halske. An dem Zeiger Z desselben (Figur 81) ist ein Kontakthebel angebracht, welcher den elektrischen Strom schliesst und eine grüne oder rothe

Lampe zum Glühen und ein Läutewerk zum Tönen bringt, wenn der Strom nicht die normale Spannung

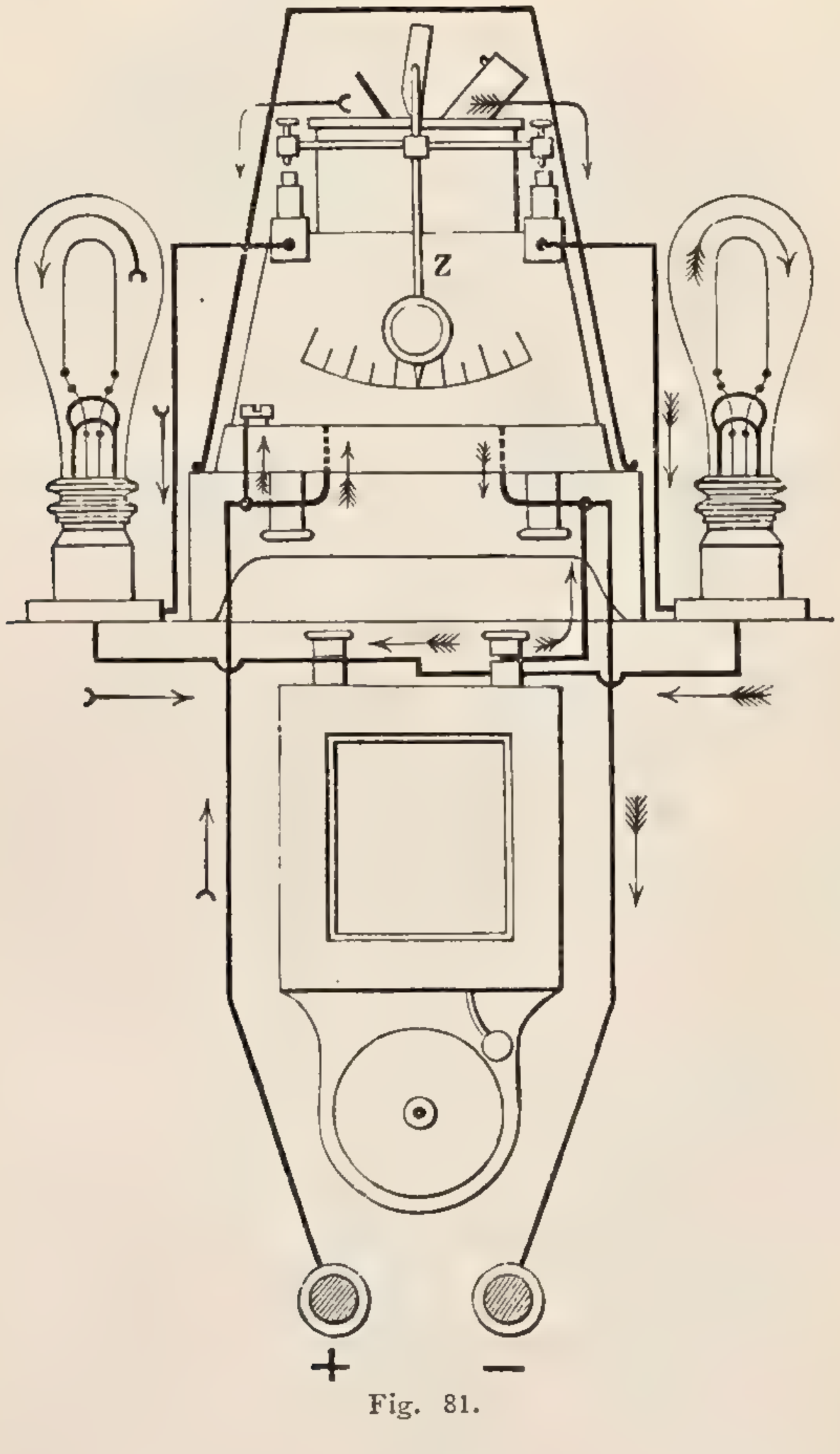


Fig. 81.

besitzt. Diese einfache Signalvorrichtung hat den Vorzug, dass sie sich an jedem Messinstrumente leicht an-

bringen und vom Maschinisten selbst auf jede beliebige normale Spannung sehr bequem einstellen lässt.

Dieser Spannungsmesser steht mit einem Umschalteapparat in Verbindung, welcher gestattet, die Klemmen sowohl jeder einzelnen Maschine als auch die Hauptanschlusspunkte der Hauptleitungen mit diesem einen Spannungsmesser zu verbinden. Es werden hierdurch die Fehler vermieden, welche bei Verwendung von mehreren Instrumenten fast unvermeidlich sind, da in solchen Maschinenstationen die von aussen beeinflussten Messinstrumente nicht so gleichmässig zeigen, wie dies zur Kontrolle der Richtigkeit der normalen Spannung erforderlich ist.

Da der Siemens'sche Spannungsmesser leicht durch Magnete in seiner Umgebung stark beeinflusst werden kann, so thut man gut, denselben möglichst weit von den Dynamomaschinen zu installieren.

Diesen Mangel zeigt der Spannungsmesser und Kontroll-Apparat von **Brückner, Ross & Cons., Wien,** nicht. Derselbe ist äusserst sinnreich konstruiert und in seiner Ausführung kräftig gehalten, dass er selbst ungeübten Händen anvertraut werden darf. Derselbe ist in Fig. 82 in der Ansicht und in Fig. 83 im Schnitt dargestellt.

Ein kreisförmig gebogener Eisenkern A ist in der Achse B, welche in Scharnieren gelagert ist, aufgehängt und taucht teilweise in ein von den Spulen CC gebildetes ebenfalls kreisförmig gebogenes Solenoid.

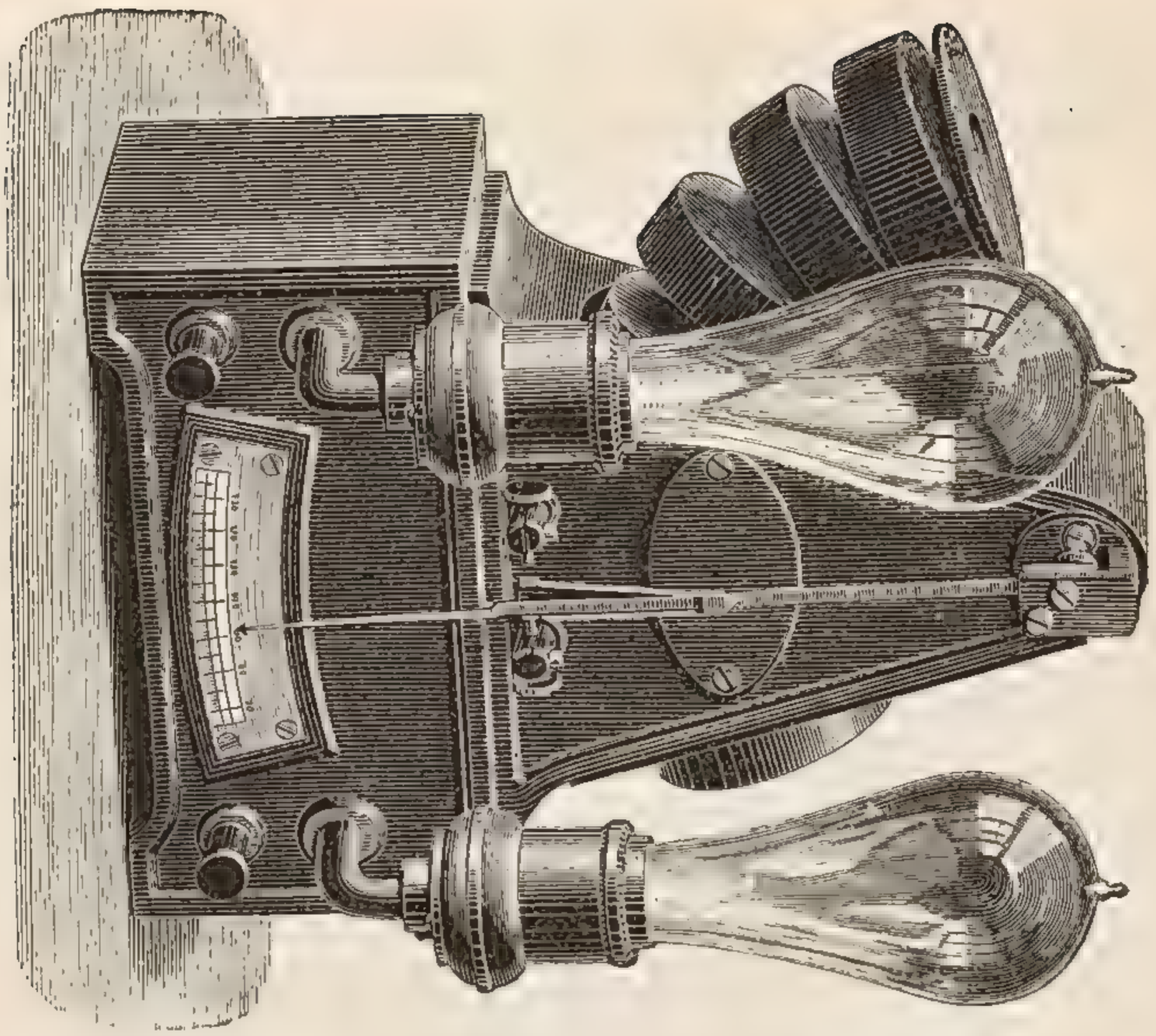


Fig. 82.

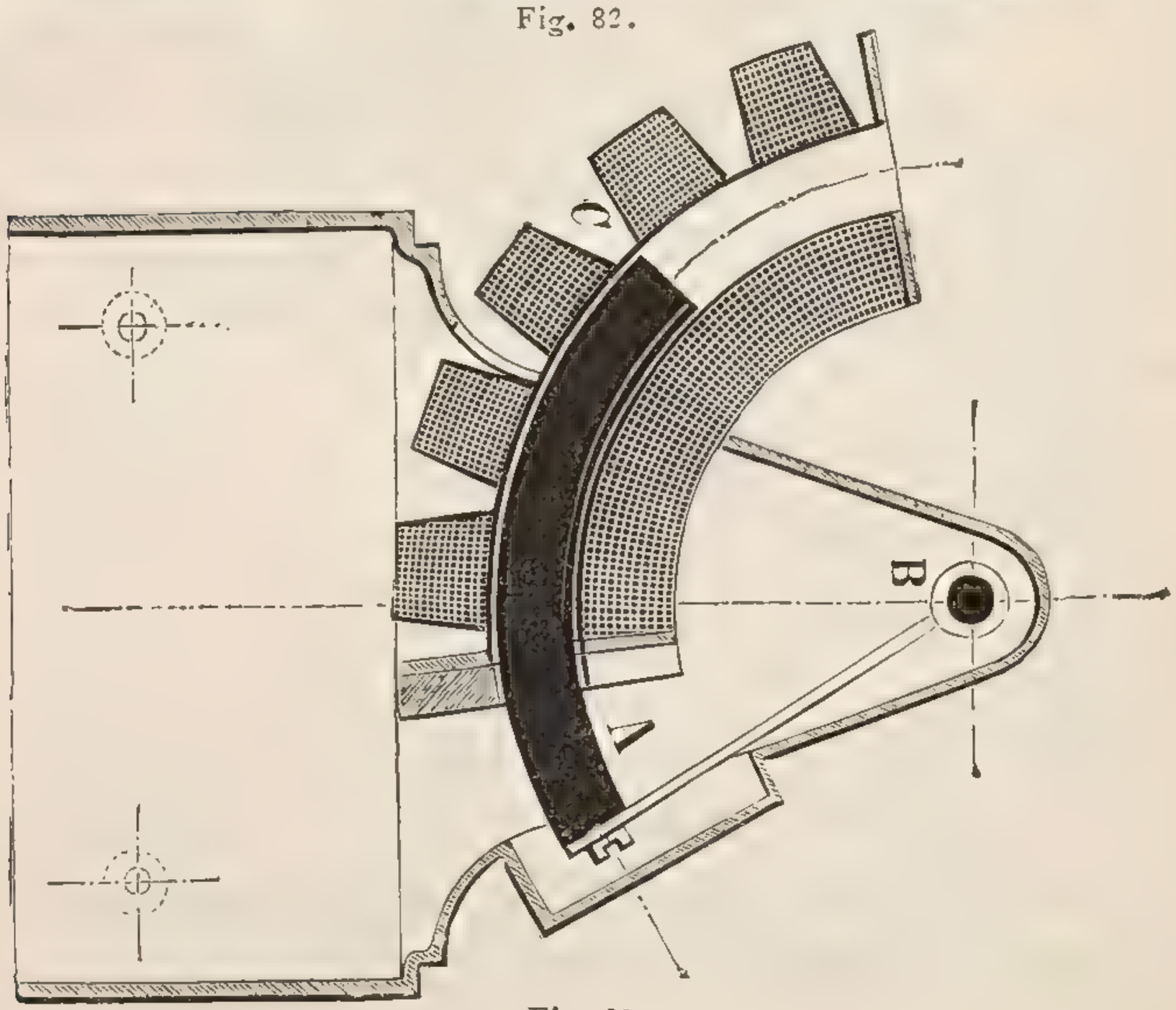


Fig. 83.

Die Spulen CC sind aus Neusilber gewickelt, so dass der Einfluss der Temperaturdifferenzen zu vernachlässigen ist.

Die Anziehung des durch CC gehenden Stromes bedingt ein Eintauchen des Eisenkerns A in das Solenoid, und dieser Anziehung wirkt das Gewicht des Kernes entgegen.

In Folge der glücklich gewählten Verhältnisse ist der Ausschlag des Kernes der Stromstärke nahezu proportional. Auf der Achse B sitzt dann noch ein Zeiger, welcher an einer Skala die Ausschläge in Volt ergiebt, ausserdem aber zwischen zwei verstellbaren Kontaktschrauben spielt und so bei Spannungsänderungen entweder die vorn am Instrument angebrachten Glühlampen zum Brennen bringt, oder aber zwei verschieden gestimmte Läutewerke in Thätigkeit setzt und so das Bedienungspersonal avisiert.

Zu dem Ende geht ein Zweigstrom durch den Zeiger; die Adjustierung des Instruments erfolgt derart, dass alle verstellbaren Gegengewichte oder Federn vermieden sind, es kann demnach auch bei der Demontierung durch ungeübte Hände das Instrument nicht wieder falsch zusammengestellt werden, sondern muss stets wieder denselben Ausschlag zeigen. Spannungsänderungen von $^1/_2$ % werden von dem Apparat mit Sicherheit angezeigt.

Da alle permanenten Magnete oder Magnetnadeln vermieden werden, so beeinflussen auch Erschütterungen auf dem Transport keineswegs die Richtigkeit des Instruments.

Einen sogenannten Spannungswecker, der ebenfalls diesen Zwecken dienen kann, haben **Siemens & Halske** konstruiert Die Konstruktion desselben ist folgende:

Der in einem Wandschränkchen mit Glasthüre befindliche Apparat besteht aus einem mit dünnem Drahte bewickelten und in den Lampenstromkreis eingeschalteten Elektromagneten mit schwingungsfähigem Anker, welcher letzterer mittelst einer sogenannten Abreissfeder von den Magnetpolen weggezogen wird. Ausserdem sind zwei elektromagnetische Klingeln oder Wecker mit verschieden gestimmten Glocken vorhanden. Vor dem Apparat ist eine Glühlampe zur Beleuchtung des Mechanismus angebracht.

Der vom Betriebsstrome der Glühlampen erregte Elektromagnet wirkt proportional zur Stromspannung auf seinen schwingungsfähigen Anker ein, indem er denselben der Wirkung der Abreissfeder entgegen mehr oder minder stark anzieht. Der Ausschlag des Ankers wird beiderseits durch Kontakte begrenzt, und indem der Anker gegen den einen oder den andern dieser Kontakte trifft, schaltet derselbe bei zu schwach werdender Spannung den Wecker mit der kleinen Glocke und bei zu stark werdender Spannung den Wecker mit der grossen Glocke ein.

Die Beleuchtung des Mechanismus durch die vor dem Apparat hängende Glühlampe dient dazu, die Bewegung der Glockenhämmer sichtbar zu machen, so dass auch durch Nachsehen man sich sofort überzeugen kann,

ob überhaupt ein Wecker und welcher von beiden sich in Thätigkeit befindet. —

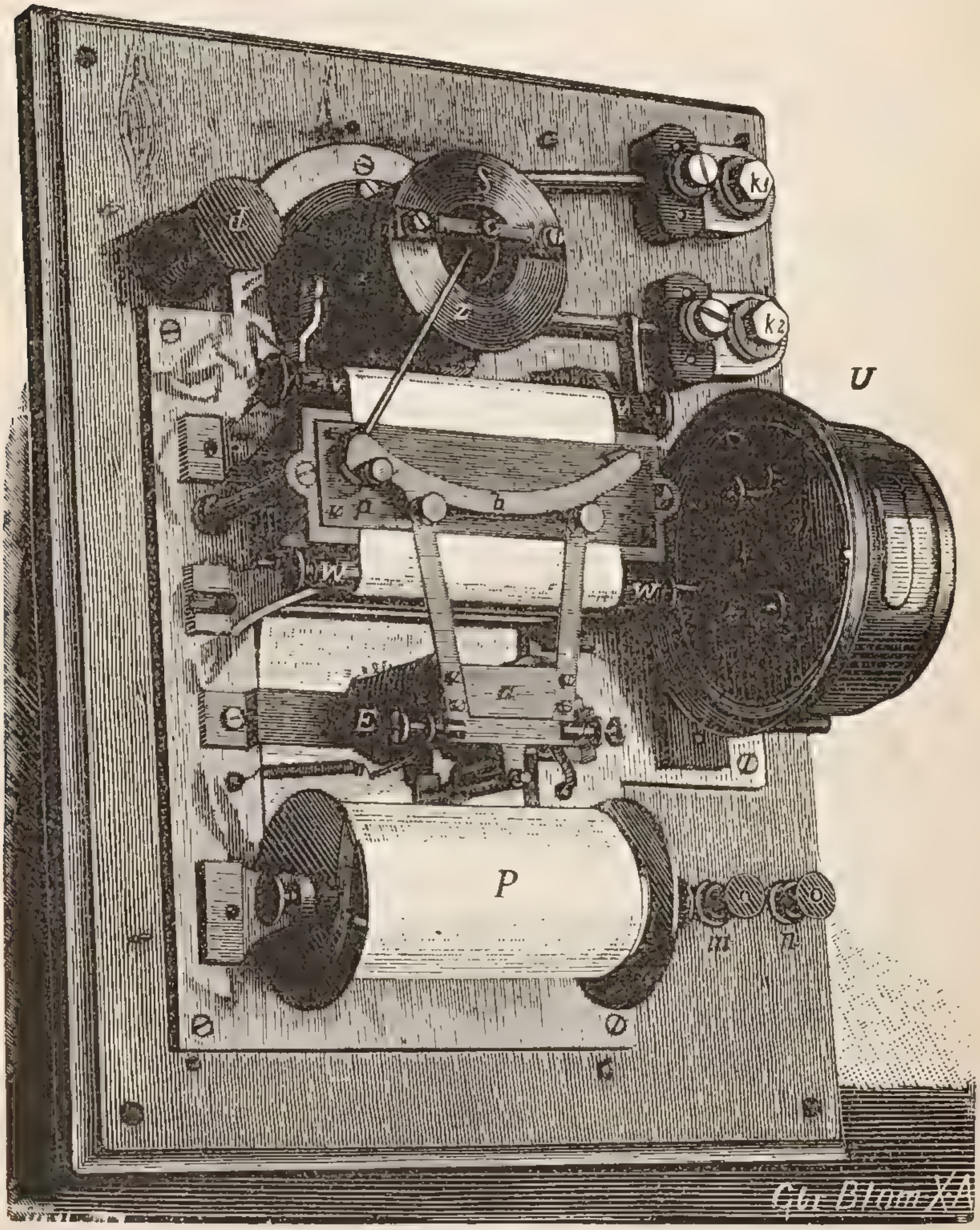
Um stets zu wissen, ob die Spannung während des ganzen Betriebes eine gleichmässige ist und die erforderliche Höhe behält, ist es wünschenswert, die einzelnen Werte, welche die Spannung während des Betriebes annimmt, graphisch zu fixieren.

Selbstregistrierende Messinstrumente bieten also hier ausserordentliche Vorteile, vorausgesetzt, dass ihre Angaben richtig sind; der bekannteste dieser Apparate ist der der Firma **Schuckert** in **Nürnberg** (System Hummel).

Das Prinzip desselben ist sehr einfach. Mit dem Zeiger eines elektrischen Messinstrumentes ist ein Stift verbunden, welcher direkt den Ausschlag des ersteren auf einen Papierstreifen zeichnet, der durch ein Uhrwerk gleichmässig vor demselben vorbeibewegt wird. Der rationellen praktischen Ausführung dieses Gedankens stand bis jetzt der Umstand hindernd im Wege, dass durch das Gleiten des Schreibstiftes auf dem Papierstreifen der Zeiger in seiner freien Beweglichkeit gehindert wird, so dass ein genaues Einstellen desselben nicht möglich ist. Um diesen Übelstand zu umgehen, hat der Erfinder den Zeiger so angeordnet, dass der Stift sich in einer Entfernung von circa 2 Zoll von dem Papierstreifen frei bewegt. Die Aufzeichnungen werden dann dadurch gemacht, dass der Stift von $^1/_4$ Minute zu $^1/_4$ Minute durch einen weiter unter beschriebenen Mechanismus rasch in das darunter liegende Papier

gedrückt wird, worauf sich der Zeiger sofort wieder frei bewegen kann.

Der Verlauf der Kurve ist aus der Aufzeichnung durch nahe an einander liegende Punkte genau ersichtlich.


K1
K2
U
P
E
W
W
W

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus einem Hummel'schen Strommesser, dessen Zeiger über einem sich bewegenden Papierstreifen vollkommen frei spielt und auf diesem von $^1/_4$ Minute zu $^1/_4$ Minute seine Stellung markiert, so dass man aus der Gesamtheit der Punkte ein Bild des Verlaufes der Stromstärke erhält.

Die vorstehende Figur 84 zeigt das Instrument in perspektivischer Ansicht von vorne. Der bei den Klemmschrauben k_1 und k_2 eintretende Strom geht durch die Spirale S und wirkt wie bei den bekannten Hummel'schen Strommessern auf einen kleinen Eisenanker. Mit dem Anker ist der leichte federnde Zeiger z verbunden, welcher an seinem äusseren Ende eine feine Spitze trägt. Dieselbe bewegt sich in einiger Entfernung über dem unter ihr vorbeigleitenden Papierstreifen P und macht in demselben ein feines Loch, wenn sie niedergedrückt wird. Dies bewirkt der kleine Elektromagnet E, der von $^1/_4$ Minute zu $^1/_4$ Minute aktiviert wird und dann den Anker a anzieht. Dieser Anker sitzt an einem Hebel, welcher an seinem Ende die Platte b trägt. Dieser letztere reicht über den ganzen Ausschlagweg der an z sitzenden Spitze und drückt dieselbe somit in allen Lagen nieder, sobald der Elektromagnet E mit einer Stromquelle verbunden wird.

Das Uhrwerk U hat den doppelten Zweck, das gleichförmige Vorrücken des Papierstreifens P zu bewirken und die Leitung, in welche der Elektro-

magnet E mit dem Zusatzwiderstande d eingeschaltet ist, von $^1/_4$ Minute zu $^1/_4$ Minute für einen Moment zu schliessen.

Das Uhrwerk wird bei dem Hummel'schen Instrument mit der Hand aufgezogen; selbstverständlich kann aber auch die Einrichtung getroffen werden, dass der Strom das Uhrwerk automatisch aufzieht.

Ein anderer Spannungsregistrier-Apparat ist von **Siemens & Halske** konstruiert. Derselbe zeigt den in einem Lichtstromkreise während der Betriebszeit stattfindenden Verlauf der Stromspannung in kurzen Zeitintervallen auf einem fortbewegten Papierbande durch Nadelstiche an, und somit die etwa auftretenden Schwankungen der Stromspannung von ihrer festgesetzten Normalstärke.

Der Apparat hat als Hauptteile eine Rolle, worauf ein langes Papierband aufgewunden ist und zwei mit beweglichen Ankern versehene Elektromagnete, von denen der eine die Ingangsetzung des zum Fortziehen des Papierbandes dienenden Mechanismus bewirkt, während der andere die Spannungsstärke durch Einstellung einer Markiernadel anzeigt. Von der grossen Vorratsrolle geht das Papierband über zwei kleine Rollen, zwischen denen ein das Papierband stützender und dasselbe periodisch momentan gegen die Markiernadel schlagender kupferner Hammer sich befindet. Die äussere, links am Apparat befindliche kleine Führungsrolle, gegen welche sich eine das Papierband einklemmende Friktionsrolle

legt, ist auf ihrer Achse mit einem Sperrrade versehen, in welches eine mit dem Anker des betreffenden Elektromagnetes verbundene Sperrklinke eingreift. Dieser Anker ist ferner mit einem federnden Kontakte versehen, welcher beim Anziehen des Ankers den Stromkreis nach dem Spannungselektromagneten schliesst. Die Bethätigung des Apparats wird durch eine Regulator-Uhr bewirkt, welche durch periodischen, oft wiederholten Kontaktschluss die Verbindung mit dem Lichtstromkreise herstellt und den Strom direkt dem zur Bewegung des Papierbandführungsmechanismus dienenden Elektromagneten zuführt, welcher wiederum bei Anziehung seines Ankers durch momentane Schliessung des erwähnten Kontaktes die Verbindung des von der Stromspannung zu beeinflussenden Elektromagnetes herstellt. Der Anker dieses zweiten, mit sehr dünnem Draht bewickelten Elektromagnetes trägt die Markiernadel, welche demgemäss durch die Anziehung dieses Ankers umsomehr nach einwärts zu stehen kommt, je stärker die Anziehung infolge der wachsenden Spannung auftritt, wodurch auch die Stiche der Markiernadel umsomehr vom äusseren Rande des Papierbandes nach dessen innerem Rande zu stehen kommen, während dieselben beim Stattfinden der Normalspannung gerade in die Mitte der Papierbandbreite fallen. Um die Stellung der Stiche bequem beurteilen zu können, ist das Papierband der Länge nach mit drei Linien, einer Mittellinie und beiderseits mit einer von dieser verschieden weit entfernten Linie versehen, von denen die am weitesten von der

Mittellinie entfernte die Seite der grösseren Spannung erkenntlich macht. Die Mittellinie entspricht der Normalspannung, und solange demnach die Stiche der Markiernadel in diese Linie fallen, arbeitet die Lichtmaschine mit der richtigen Tourenzahl; liegen aber die Stiche nach der Seite der entfernteren Seitenlinie zu, so war die Spannung zu hoch. Die Stiche der Markiernadel in das Papierband werden dadurch hervorgebracht, dass der Anker des Triebwerkmagnetes beim Loslassen der Pole gegen den das Papierband tragenden kupfernen Hammer schlägt, so dass dieser emporgeschnellt wird und dadurch das Papierband gegen die Markiernadel drückt, wobei diese durch das Papierband hindurch in eine Vertiefung des Hammers hineinsticht. Diese Stiche werden in Zeitintervallen von je $^3/_8$ Minuten ausgeführt, so dass demnach 160 Stiche auf den Zeitverlauf einer Stunde kommen. Ist also die Zeit der Inbetriebsetzung des Apparates genau bekannt, so kann auch die Zeit irgend welcher bemerkenswerten Spannungsabwechslung nachträglich durch Abmessung der Zeitintervalle auf dem Papierbande bestimmt werden.

Ein weiterer für die Kontrolle des Betriebes unerlässlicher Apparat ist der Erdschlussanzeiger.

Wenn auch sämtliche Leitungen auf das sorgfältigste isoliert, meist auf Porzellanknöpfen befestigt und, wenn nötig, noch durch Holzkästen vor äusserer Beschädigung geschützt sind, so kann trotzdem eine fahrlässige oder vielleicht auch absichtliche Beschädigung der Isolation

und damit ein Erd- oder Kurzschluss eintreten. Es kann dies zwar keine gefährliche Erwärmung der Leitungen herbeiführen, da sowohl an jeder Zweigleitung

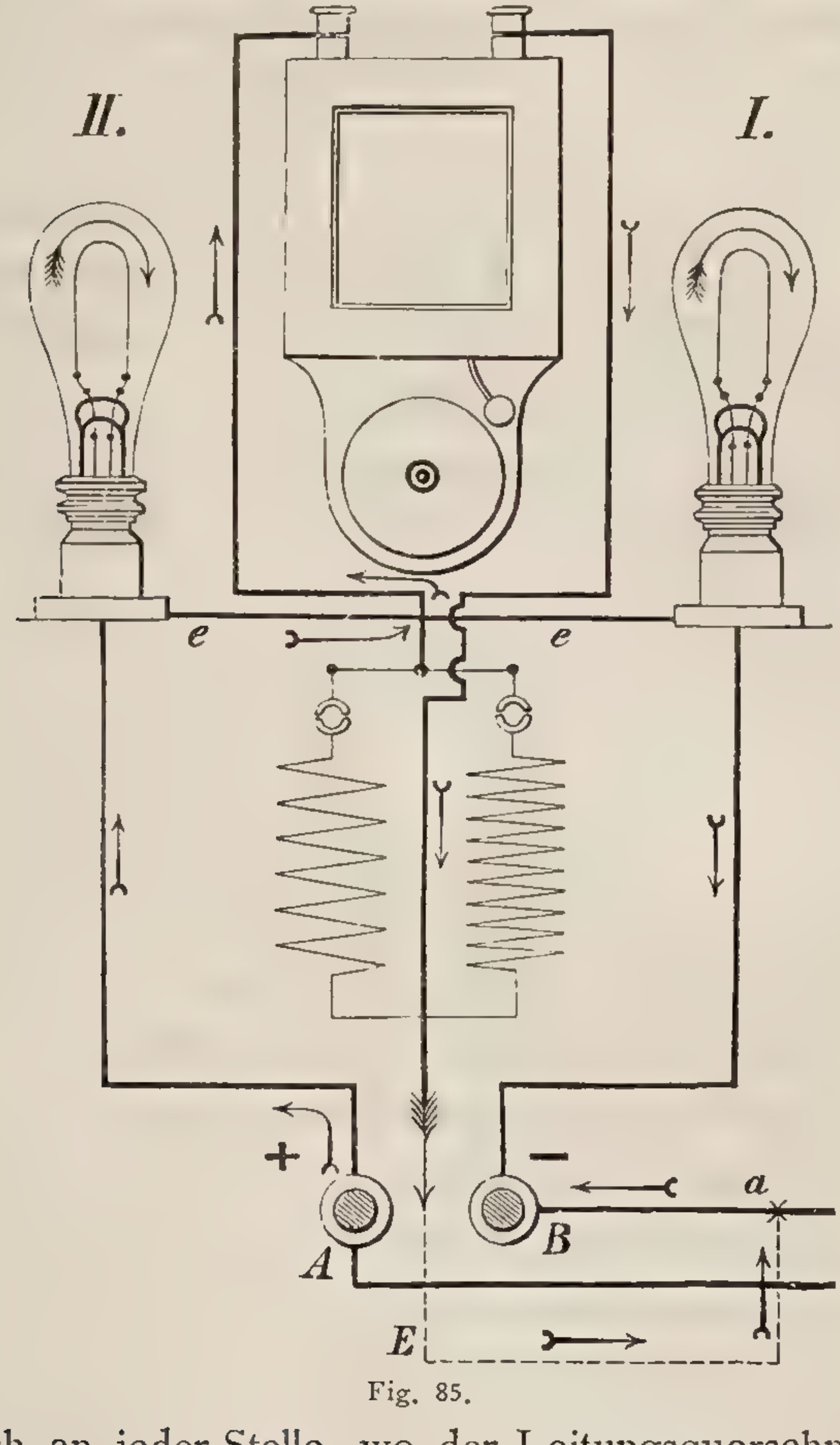


Fig. 85.

als auch an jeder Stelle, wo der Leitungsquerschnitt sich verringert, eine doppelte Sicherheitsschaltung gesetzt ist, welche ausschmilzt und den Strom unterbricht, bevor

eine Erhitzung der Drähte eintreten kann; es ist jedoch im Interesse der Maschinenanlage und zur Vermeidung von Stromverlusten nötig, solche Erdschlüsse sofort zu erkennen und sie schleunigst zu beseitigen. Der hierzu erforderliche Apparat muss so konstruiert sein, dass er es dem Maschinisten ermöglicht, sich jederzeit von der Isolation des Gesamtleitungsnetzes ein Bild zu verschaffen. Diesen Anforderungen genügt ein von der **Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft** in **Berlin** in ihren Zentralen vielfach benutzter Erdschlussanzeiger (Fig. 85) nach jeder Richtung. Wir wollen die Wirkungsweise desselben kurz beschreiben. Er besteht im wesentlichen aus zwei hintereinander in die Hauptleitung A, B eingeschalteten Lampen, deren Verbindungsleitungen e, e mit der Erde (E) in Kontakt gebracht werden. Die hintereinander geschalteten Lampen, welche nur mit der Hälfte der normalen Spannung brennen, werden für gewöhnlich nur dunkel glühen. Sobald aber z. B. an der Stelle a ein Erdschluss vorhanden ist, dessen Widerstand nur wenige Ohm beträgt, wird Lampe II hell aufleuchten, da der Strom nun den mit Pfeilen bezeichneten Weg einschlagen wird; der Maschinist erfährt also hierdurch, dass in der Leitung ein bedeutender Erdschluss vorhanden ist. Nun ist es aber wichtig, nicht nur bedeutende Erdschlüsse, welche kaum mehr einige Ohm Widerstand besitzen, zu erkennen, sondern den Isolationsfehler auch dann schon angezeigt zu erhalten, wenn dessen Widerstand z. B. noch 1000 oder 2000 Ohm beträgt. Zu

diesem Zweck ist in der Verbindungsleitung von den Lampen zur Erde ein Klingelapparat K eingeschaltet, welcher bei einem Strome von 0,1 Ampère und unter der Voraussetzung, dass die Spannung zwischen den beiden Hauptkabeln 100 Volt beträgt, zu läuten beginnt. Dieses Läutewerk wird somit, wenn wir den Lampenwiderstand einstweilen vernachlässigen, schon bei einem Isolationswiderstande von 1000 Ohm in Thätigkeit gesetzt. Man kann parallel zu dem Läutewerke noch mehrere Zweigwiderstände anwenden; schliesst man z. B. einen Zweigwiderstand, welcher ebenso viel Widerstand besitzt wie das Läutewerk, so wird der Strom zur Hälfte durch das Läutewerk und zur Hälfte durch den Zweigwiderstand gehen; es muss also im Ganzen die doppelte Stromstärke oder $^1/_5$ Ampère vorhanden sein, wenn das Läutewerk in Thätigkeit kommen soll. Der Isolationswiderstand wäre in diesem Falle, wenn wir wieder den Widerstand der Lampen und des Läutewerks vernachlässigen, auf etwa 500 Ohm gesunken. Auf diese Weise ist es also möglich, dem Maschinisten durch Signale bekannt zu geben, ob der Isolationswiderstand der Leitungen 1000, 500, 200 u. s. w. Ohm besitzt. Wenn der Apparat das Vorhandensein eines Erdschlusses angezeigt hat, so ist es zur Entfernung desselben für den Maschinisten natürlich auch nötig, die Stelle zu wissen, wo dieser Erdschluss sich befindet. Die Auffindung desselben in der gewöhnlichen Art wäre nun, wenn einige 100 Häuser angeschlossen sind, eine ausserordentlich schwierige und

zeitraubende Arbeit. Es müssten nach der Reihe sämtliche Häuser von den Hauptleitungen abgetrennt, in dem Hause, wo sich der Erdschluss sodann zeigt, die Leitungen wieder von einander geteilt werden, um mittelst Galvanoskops immer mehr die Stelle zu lokalisieren und schliess-

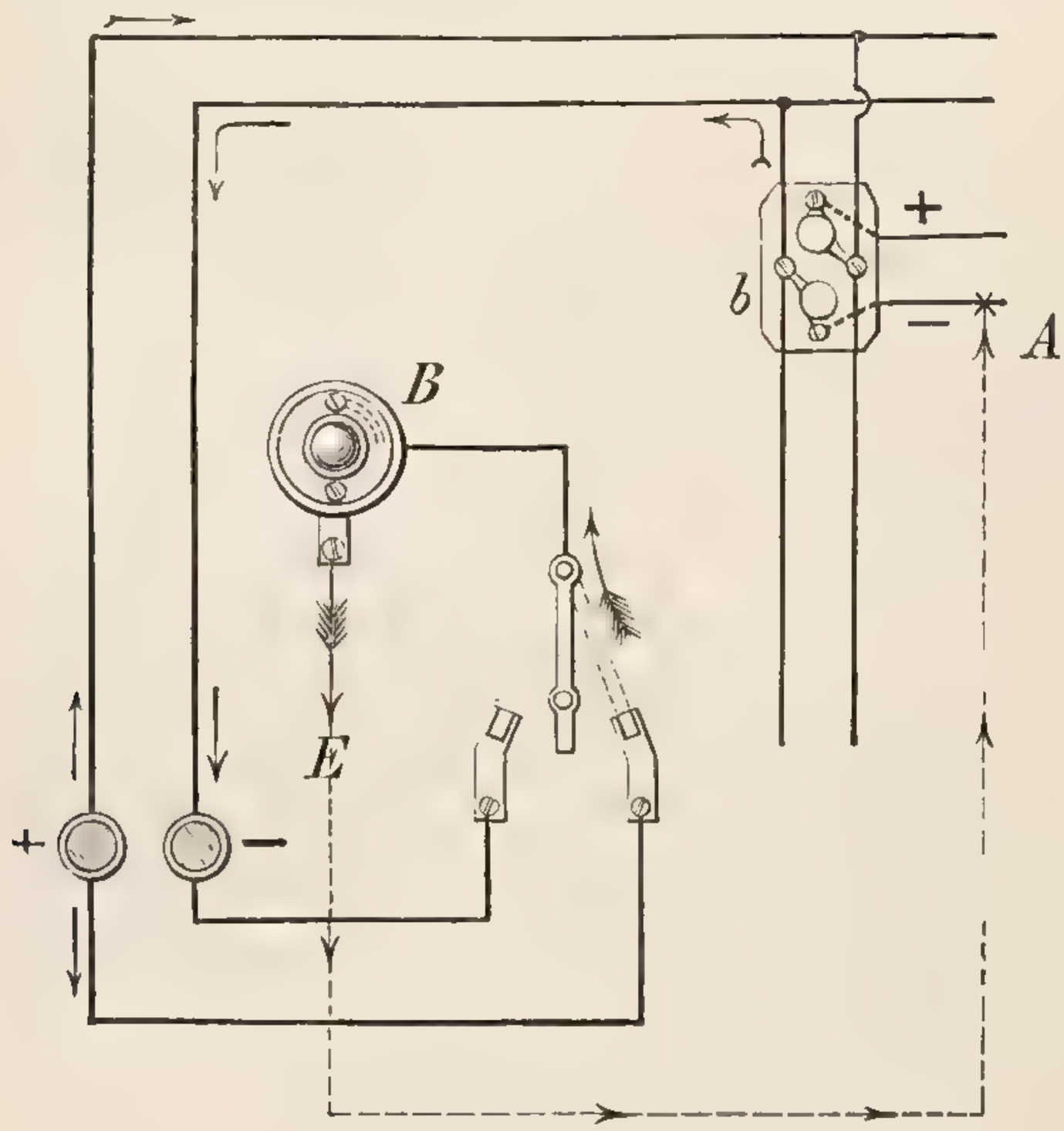


Fig. 86.

lich den Platz finden zu können, an welchem die Beschädigung der Isolation stattgefunden hat. Um diese zeitraubende Arbeit wenigstens bei starken Erdschlüssen zu vereinfachen, befindet sich in der Zentralstation eine Bleischaltung B (Fig. 86), welche einerseits mit der Erde E in Verbindung ist, andererseits durch eine Umschaltevorrichtung beliebig mit dem positiven oder negativen

Hauptkabel in Verbindung gebracht werden kann. Entsteht nun an der Stelle A ein Erdschluss und der Bleistöpsel B wird mit der positiven Leitung in Verbindung gebracht, so wird der Strom in der durch Pfeile angedeuteten Richtung durch die Leitung gehen und einen direkten Kurzschluss verursachen, wobei der Bleistöpsel bei Punkt b, wenn er schwächer als der in B ist, schmelzen und hierdurch die Lampen, welche mit der betreffenden Leitung in Verbindung waren, erlöschen werden. Die Maximalgrösse des Stöpsels in B hängt von der Grösse des Stranges ab, welchen man eventuell in b noch ohne grosse Unannehmlichkeit für den Konsum unterbrechen zu können glaubt. Der Konsument, in dessen Hause ein Teil der Leitung auf diese Weise ausgeschaltet ist, wird natürlich einen neuen Bleistöpsel verlangen, und hierdurch erfährt der Maschinist, in welcher Leitung dieIsolationsschädigung stattgefunden hat, und kann für entsprechende Reparatur Sorge tragen, indessen kommt diese Operation nur in den seltensten Ausnahmefällen vor und darf überhaupt nur zu einer Zeit geschehen, in der, wie z. B. bei Anbruch des Tages, das Erlöschen der Lampen die geringste Störung verursachen wird.

Als ein Kontroll-Instrument in einer Zentralanlage mag endlich auch das Tachometer (Geschwindigkeitsmesser) genannt werden. Dasselbe bringt die Anzahl der Umdrehungen rotirender Maschinenteile andauernd auf einem mit einer Skala versehenen Zifferblatt in der Weise zur Anschauung, dass ein Zeiger die Anzahl der

Touren oder Winkelgeschwindigkeiten angiebt, welche die mit dem Tachometer verbundene Welle im Augenblick des Ablesens per Minute ausführt. Soll das elektrische Licht keinen Schwankungen unterworfen sein oder wie man gewöhnlich sagt, nicht zucken, so muss in erster Linie dafür gesorgt werden, dass Motor wie Stromerzeuger einen möglichst gleichmässigen Gang haben. Nur wenn die Dynamomaschine ihre konstante Tourenzahl beibehält, kann von einem ruhigen Licht die Rede sein. Diese konstante Tourenzahl zu kontrollieren, ermöglicht das Tachometer, an dem man die Höhe der Tourenzahl jederzeit ablesen kann. Das verbreitetste dieser Instrumente ist wohl das Tachometer von **Buss, Sombart & Cie., Magdeburg**. Dasselbe funktioniert äusserst sicher und zuverlässig. Auch das Tachometer von **Dr. Horn** in **Leipzig** erfreut sich einer grossen Verbreitung. —

Eine zweite wichtige Gruppe bilden diejenigen Apparate, welche zur Kontrolle des Stromverbrauchs dienen, die sogenannten Elektrizitätsmesser[1]). Dieselben können Energiemesser und Strommesser sein. Die theoretische Aufgabe wird eigentlich nur durch die ersten gelöst, da nur die Summe der vom Konsumenten verbrauchten elektrischen Energie, also der Produkte aus elektrischer Spannung e, Stromstärke i und der Zeit, in welcher der Verbrauch stattfand t,

---

[1]) Elektrot. Zeitschrift, Juni 1887.

dem wirklichen Werte der Elektrizitätslieferung entspricht. Bei Zentralanlagen ist es aber eine notwendige Bedingung, dass die elektrische Spannung des erzeugten Stromes stets konstant bleibt, und es ist die Aufgabe des Elektrotechnikers, das Leitungsnetz möglichst derartig zu kombinieren, dass auch der den Konsumenten zugeführte Strom stets überall nahezu dieselbe elektrische Spannung hat. Die Spannung e ist daher als ein konstanter Faktor für die betreffende Anlage anzunehmen, und es genügt, die Instrumente so einzurichten, dass sie nur die Produkte i . t fortlaufend messen und addieren.

Die einfachste Methode der Messung und Summierung der Produkte i . t ist jedenfalls die bereits von **Edison** vorgeschlagene und praktisch mit gutem Erfolge durchgeführte elektrolytische. Da sowohl die elektrolytische Lösung, wie die Ausfällung eines Metalles der zwischen den Elektroden übergegangenen Elektrizitätsmenge, also auch der Summe der Produkte i . t proportional ist, so genügt die Wägung der Anode oder Kathode einer elektrolytischen Zelle, um durch die gefundene Gewichtsdifferenz die zwischen zwei Wägungen verbrauchte Elektrizitätsmenge festzustellen.

Dieser denkbar einfachste Elektrizitätsmesser funktioniert mit voller Sicherheit und ausreichender Genauigkeit, wenn man ihm so grosse Dimensionen giebt, dass der ganze zu messende Maximalstrom ihn durchlaufen kann. Da dies aber zu unbequem grossen Abmessungen der Zelle führt, so begnügt man sich damit, einen Teil-

strom durch den Apparat zu führen. Hierdurch verliert die Messung aber ihre Genauigkeit, da der eine Zweig der Stromverzweigung durch einen metallischen, der andere aus einem flüssigen elektrolytischen Widerstande gebildet ist, und da der Leitungswiderstand der Elektrolyte sich bei Temperaturveränderungen in umgekehrtem Sinne ändert, wie der der Metalle. Dazu kommt noch, dass die Verminderung des spezifischen Leitungswiderstandes der Elektrolyte in sehr schneller Progression mit wachsender Temperatur stattfindet. Die hierdurch bedingte Abhängigkeit der Angaben der elektrolytischen Elektrizitätsmesser von der Temperatur der Zelle lässt ihre Verwendung kaum zulässig erscheinen, wenn man nicht den ganzen zu kontrollierenden Strom durch den Messer leiten will.

Von anderen Konstruktionen, welche nach Edison in grosser Anzahl vorgeschlagen wurden, wollen wir diejenigen erwähnen, welche bereits in Zentralanlagen erprobt und sich innerhalb gewisser Grenzen als brauchbar erwiesen haben. Es sind dies die Elektrizitätsmesser von **Ferranti** und von **Dr. Aron.**

Der Messer von **Ferranti** beruht auf der Thatsache, dass Quecksilber, welches einen Magnetpol umgiebt, in Rotation um denselben versetzt wird, wenn es von radialen Strömen durchlaufen wird. Ferranti misst diese Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers durch einen in das Quecksilber tauchenden, konzentrisch mit der Rotation desselben gelagerten leichten Hebel, dessen

Umdrehungen durch ein Laufwerk registriert werden. Dieser Apparat giebt befriedigende Resultate, wenn er gut reguliert ist und wenn der Widerstand des rotierenden Hebels und des Zählerwerkes ein verschwindend kleiner ist. Es ist aber zu befürchten, dass bei der ausserordentlich schwachen unipolaren Rotationskraft und der dadurch gebotenen ausserordentlichen Feinheit aller bewegten Teile, sowie durch die Veränderungen, welchen die Beweglichkeit des Quecksilbers bei andauerndem Kontakte mit festen Metallen und mit der Luft unterliegt, dies System sich im dauernden praktischen Gebrauche nicht bewähren wird.

Durchaus befriedigende Resultate giebt der von **Dr. Aron** konstruierte Elektrizitätszähler.

Der Apparat besteht, wie nachfolgende Figur 87 zeigt, im wesentlichen aus zwei Pendeln; dieselben sind auf gleiche Schwingungsdauer abgeglichen. Das linke Pendel ist ein gewöhnliches, das rechte trägt am unteren Ende als schweren Körper einen Stahlmagneten. Die Pendel werden durch je ein Uhrwerk, das durch Federkraft getrieben wird, im Gang erhalten und wirken auf ein gemeinschaftliches Zählwerk, welches die Differenz ihrer Schwingungen zählt. Solange kein Strom die im Apparat unter dem magnetischen Pendel angebrachte Rolle durchfliesst, schwingen beide Pendel gleich. Wenn jedoch der Strom wirkt, wird das magnetische Pendel in seiner Schwingungsdauer beeinflusst und zwar so, dass es desto schneller schwingt, je mehr Strom den Apparat durch-

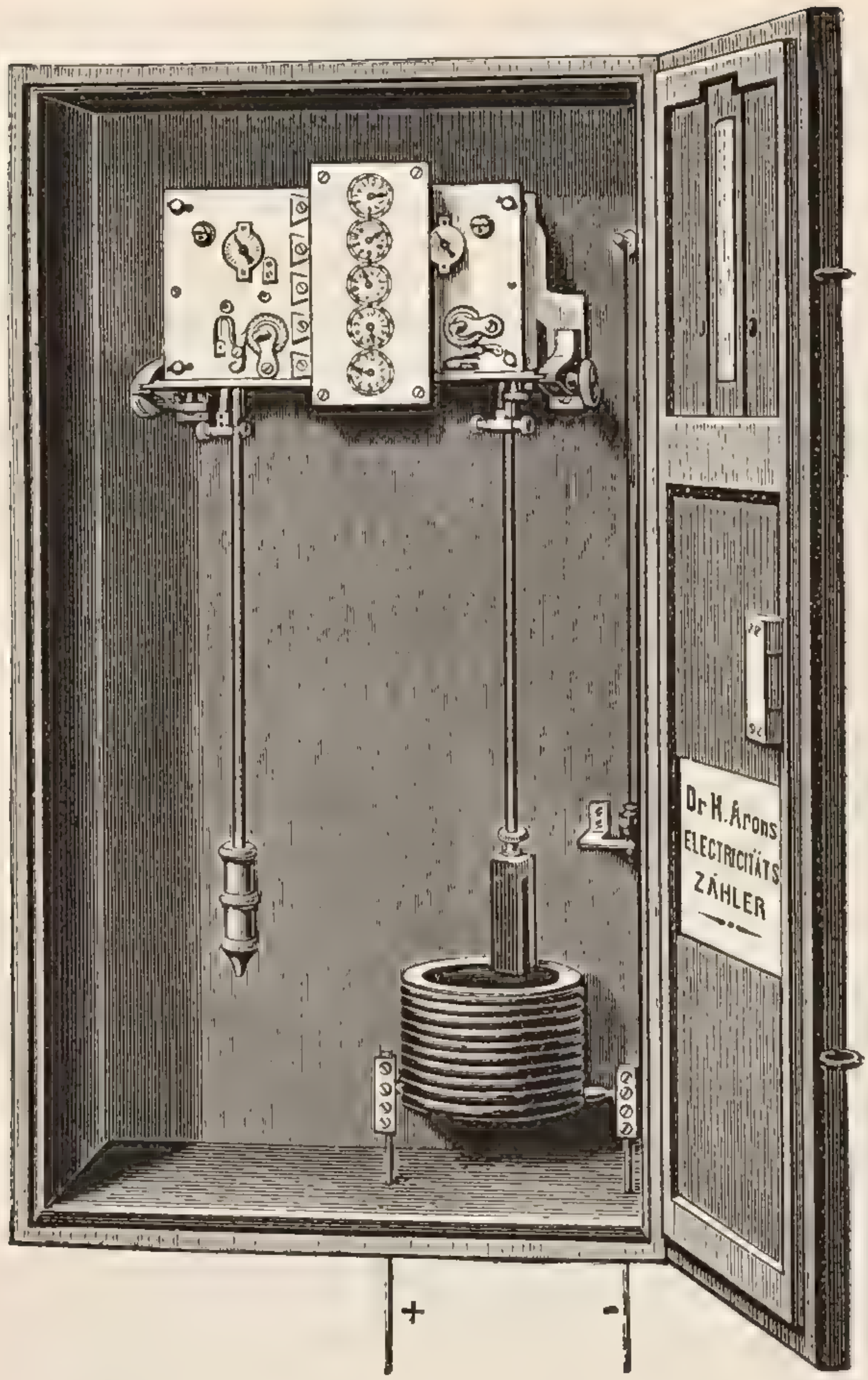


Fig. 87.

fliesst. Das Zählwerk registriert die Voreilung des magnetischen Pendels und ist so eingerichtet, dass das oberste Zifferblatt die Einer, das zweite die Zehner, das dritte die Hunderte u. s. w. angiebt. Ein Faktor, der durch

Aichung bestimmt ist, giebt leicht die gelieferte Elektrizitätsmenge.

Das Uhrwerk zum Betrieb der Pendel geht ca. 40 Tage, braucht also bei genügender Reserve nur monatlich aufgezogen zu werden. Die Uhrwerke sind leicht so gut zu regulieren, dass die etwaigen Abweichungen bei stromlosem Gang für die Richtigkeit der Angaben ohne Belang sind.

Eine Verbesserung dieses Elektrizitätsmessers bietet **Dr. Aron's** Voltcoulombzähler für Gleichstrom und Wechselstrom.

Derselbe besteht (Fig. 88) ebenfalls wie der vorstehende Apparat aus zwei Pendeln von gleicher Schwingungsdauer. Das linke Pendel ist ein gewöhnliches mit einem Messinggewicht am unteren Ende; das rechte trägt ein gabelförmiges Messingstück, in dem eine Rolle mit feinem Draht befestigt ist.

Diese Rolle mit dünnem Draht wird von einer zweiten Rolle umgeben, innerhalb welcher sie unbehindert schwingen kann.

Die innere Rolle liegt in einem Nebenschluss zur Stromleitung und misst die jeweilig herrschende Spannung. Die äussere Rolle ist mit starkem Draht umwickelt und wird vom Hauptstrom durchflossen. Die gegenseitige Einwirkung der beiden Rollen bewirkt eine Veränderung in der Schwingungsdauer des Messpendels, welche dem Produkt der jeweilig herrschenden Spannung und Stromstärke proportional ist.

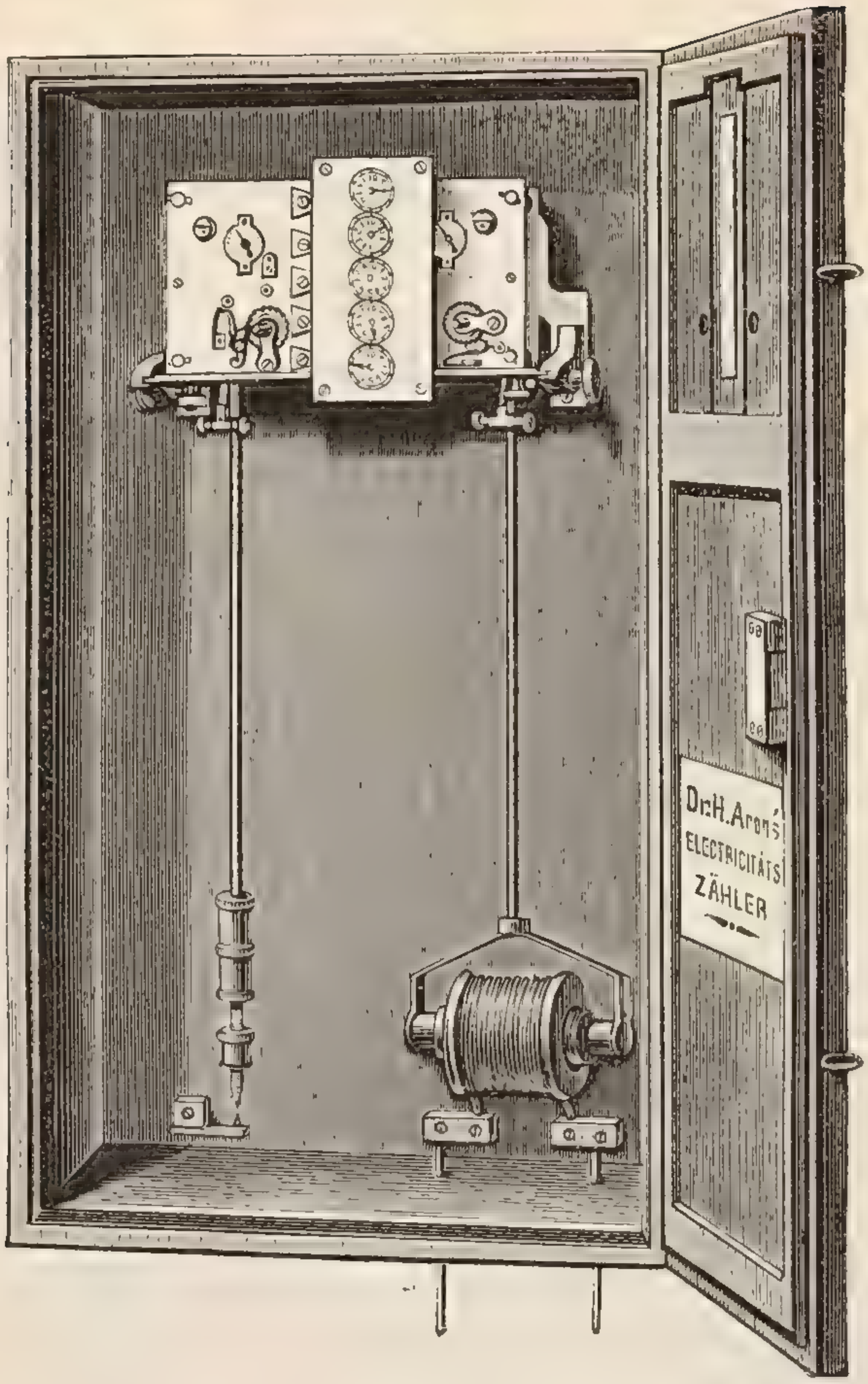


Fig. 88.

Das Zählwerk des Apparates registriert die Differenz der Schwingungen der beiden Pendel und ist ebenso eingerichtet wie das des vorigen Apparates.

Die Voltcoulombzähler werden in Abstufungen für 12—500 Ampère gebaut.

Das Vorteilhafte der Aron'schen Elektrizitätsmesser besteht besonders darin, dass dieselben in den Räumen der Konsumenten Aufnahme finden können und jeder Konsument selbst jeder Zeit seinen Stromverbrauch beobachten und kontrollieren kann.

Erwähnen wollen wir noch einen Elektrizitätsmesser von **Siemens & Halske.** Dieser Messer ist, wie wir einem Vortrage Werner Siemens' entnehmen, eine weitere Entwicklung des Systems einer elektromagnetischen Maschine mit der Rotationsgeschwindigkeit proportionaler Arbeitsleistung. Diese Arbeitsleistung ist hier eine elektrodynamische, welche binnen weiter Grenzen genau proportional der Rotationsgeschwindigkeit der Maschine ist.

Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem kleinen Pacinotti'schen Ringe mit vertikaler Achse, auf der der aus Platindrähten gebildete Kommutator von sehr geringem Durchmesser befestigt ist. Der Ring ist von einem Kupferzylinder umgeben und konzentrisch mit demselben fest verbunden. Ein Hufeisenmagnet aus glashartem Wolframstahl ragt mit seinen Polenden in den Kupferzylinder hinein, sodass dieselben dem Ringe nahe gegenüberstehen, ohne jedoch Ring und Kupfermantel zu berühren. Der mit dem Ringe rotierende Kupferzylinder ist seinerseits von einem feststehenden Eisenringe umgeben. Durchläuft ein Strom die Windungen des Ringes, so rotiert mit ihm der Kupferzylinder zwischen den Polenden des Stahlmagnetes und dem ihn umgebenden Eisenzylinder, wodurch in ihm Ströme von grosser, der

Rotationsgeschwindigkeit durchaus proportionaler Stärke induziert werden, welche die Rotationsgeschwindigkeit auf etwa $^1/_{20}$ des Betrages reduzieren, den sie ohne die elektrodynamische Dämpfung annehmen würde. Da das Gewicht des rotierenden Teiles des Apparates auf einer Spitze ruht und durch die Anziehung zwischen den Magnetpolen und dem Eisenringe wesentlich vermindert ist, und da ferner der Kommutator einen sehr geringen Durchmesser hat und nur leicht von den feststehenden Zuleitungsdrähten berührt wird, so setzt sich der Ring schon bei sehr schwachen Strömen in regelmässige langsame Drehung, die der Stromstärke binnen weiter Grenzen vollständig proportional ist. Ein einfaches Zählwerk der Umdrehungen, dessen Zifferblatt durch die Glasdecke der zylindrischen Schutzhülle des Apparates stets sichtbar ist, giebt daher jederzeit mit Genauigkeit die verbrauchte Elektrizitätsmenge an. Die Einstellung der richtigen Rotationsgeschwindigkeit für die Stromregistrierung kann mit Leichtigkeit durch einen im Innern des verschlossenen Apparates befindlichen kleinen Nebenschluss oder durch Drehung des Stahlmagnetes geschehen, wodurch keine sichtbare Funkenbildung am Kommutator herbeigeführt wird. Der Umstand, dass derselbe Stahlmagnet, welcher die der Stromstärke genau proportionale Rotation des Ringes veranlasst, auch die elektrodynamische Hemmung bewirkt, macht die Rotation ziemlich unabhängig von Veränderungen der Stärke des permanenten Magnetismus. Sollte daher bei längerem Gebrauche des Apparates

wirklich eine Schwächung des Stahlmagnetes eintreten, so würde dies ohne wesentlichen Einfluss auf die Strommessung bleiben. Die Rotationsgeschwindigkeit des Apparates lässt sich ohne schädliche Erhitzung der Windungen und des Kupferzylinders und ohne Funkenbildung am Kommutator von etwa 7 auf 250 Umdrehungen in der Minute steigern, ohne dass die Proportionalität mit der Stromstärke sich ändert. Der Apparat ist also bei passender Stromverzweigung für eine Installation von 30 bis 40 Glühlampen anwendbar, wenn noch der Stromverbrauch einer einzelnen Lampe registriert werden soll. Ist ein grösserer Umfang des Messungsbereiches geboten, so kann dies durch eine Kombination zweier gleicher Messer erzielt werden. Wird die Stromverzweigung so eingerichtet, dass der Zweigwiderstand des Hauptstromes bei dem zweiten Apparate nur $^1/_{10}$ so gross ist, wie der des ersten Apparates, so durchläuft den zweiten nur $^1/_{10}$ des Stromes, welcher den ersten durchläuft, die Angaben seines Zählwerkes haben daher den zehnfachen Wert. Durch einen einfachen selbstthätigen Umschalter kann man nun anstatt des ganzen Zweigwiderstandes des Hauptstromes mit dem zweiten Apparat $^1/_{10}$ desselben einschalten, wenn die Stromstärke eine gewisse Grenze überschreitet. Es wird hierdurch der Umfang des Messungsbereiches verzehnfacht, ohne die untere Grenze zu verschieben. Selbstverständlich müssen die Ablesungen beider Messer addiert werden, um den Elektrizitätsverbrauch festzustellen. —

Eine besondere Gruppe von Apparaten und Hilfsvorrichtungen bilden die Ausschalter, Umschalter und Sicherheitsschaltungen.

Der Zweck der Ausschalter besteht im allgemeinen darin, die Unterbrechung des elektrischen Stromes in irgend einer Leitung auf bequeme und sichere Weise bewirken zu können, und zwar dienen die grösseren Apparate dieser Art zur Aufhebung der Stromerzeugung der im vollen Gange befindlichen Maschine oder mehrerer parallel geschalteter Maschinen, während die kleinen Ausschalter zur Stromaufhebung beziehentlich zum Ab- und Anstellen einzelner Lampen oder Lampengruppen benutzt werden. Ferner lassen sich aber die Ausschalter auch noch dazu benutzen, bei einem in der Leitung vorkommenden, nach Ort und Stelle nicht sofort ausfindig zu machenden Fehler, die Leitung streckenweise vollständig ausschalten zu können, um so den Ort des Fehlers rasch zu bestimmen.

Wenn Ausschalter gut funktionieren sollen, namentlich bei hoher Stromstärke, ohne dass die Kontaktflächen zu viel durch die Funken leiden, müssen dieselben ein schnelles und weites Öffnen und Schliessen der Kontakte bewirken, wodurch Überhitzung und Schmelzung der Kontaktflächen verhütet wird, während andernfalls, wenn die Kontaktflächen beim Aus- und Einschalten langsam auseinander- oder zusammengehen, infolge des dem Strome dabei auf einige Dauer sich entgegenstellenden hohen Widerstandes eine Überhitzung und Beschädigung,

wohl gar ein Zusammenschweissen der Kontaktflächen herbeigeführt wird.

Das rasche Aus- und Einspringen der Kontakte wird bei den Umschaltern mittelst Federn und zweckmässigen Mechanismen bewirkt. Bei den grössten Ausschaltern, für Ströme bis 500 Ampères, dient dazu eine Art von Kniehebelmechanismus, welcher mittelst starker Spiralfedern zum plötzlichen Überschnellen aus der Mittellage in die Grenzlage gezwungen wird, wobei die durch starke Kupferfedern gebildeten Kontakte mit elastischem Angriff, sanfter Reibung und straffem Schluss wirksam sind.

Ein von **Siemens & Halske** konstruierter selbstthätiger Ausschalter dient für Anlagen mit parallel geschalteten Lichtmaschinen, von denen jede durch ihren eigenen Motor betrieben wird, wobei der Zweck des Ausschalters darin besteht, dass derselbe die mit ihm verbundene Lichtmaschine aus dem Gesamtstromkreise ausschliesst, sobald diese Maschine infolge zufällig abnehmender Umlaufsgeschwindigkeit in der Stromerzeugung nachlässt und dadurch dem Hereindringen des Stromes der übrigen Maschinen ausgesetzt wird, so dass eine Überhitzung und Beschädigung derselben zu befürchten ist.

Im Gegensatz zu den Ausschaltern vermeiden die Umschalter die plötzliche Stromunterbrechung, indem dieselben im allgemeinen dazu dienen, die von den Maschinen kommenden Leitungen mit den nach den Lampen führenden Leitungen im allmählichen Übergange von einem Stromkreise zum anderen zu verbinden.

Der mittelst Umschalter zu bewirkende Kontaktwechsel erfolgt entweder durch aufeinander schleifende Kontaktflächen oder durch Ausziehen und Umstecken von Metallstöpseln in die Löcher verschiedenartig verbundener Metallteile des Apparats; die letztere Umschaltungsweise ist bei der vielartigen Verbindung zwischen mehrfachen Stromquellen und Lichtleitungen geboten und wird deshalb bei dem in Zentralstationen benutzten Generalumschalter angewendet.

Für die Umschalter ist anstatt der springenden Lösung oder Schliessung der Kontakte, wie solche bei den Ausschaltern nötig ist, eine allmähliche Stromüberführung erforderlich, wobei eine plötzliche Stromunterbrechung in der Stromleitung nicht stattfindet.

Insbesondere dienen die sogenannten Generalumschalter dazu, bei einer Beleuchtungsanlage, zu welcher mehrere Maschinen und ausserdem noch Reservemaschinen vorhanden sind, jede Lampenleitung mit jeder der vorhandenen Maschinenleitungen beliebig in Verbindung setzen zu können.

Die Lichtleitungssicherungen haben den Zweck, die bei zufälligem oder durch Unvorsichtigkeit herbeigeführten kurzen Schluss drohende Überhitzung der Leitungsdrähte zu verhüten und somit vor der Feuersgefahr, welche durch das Erglühen und Schmelzen dieser Drähte herbeigeführt werden kann, zu schützen, sowie überhaupt die Beschädigung der Leitungen zu verhindern. Diese Sicherungen bestehen in der Hauptsache aus entsprechend

der Leitungsfähigkeit der Drähte abgemessenen Bleistreifen, durch welche an geeigneten Stellen die elektrische Verbindung der Lichtleitungsdrähte hergestellt wird, so dass der elektrische Strom beim Übergange in den zu schützenden Teil der Leitung durch den Bleistreifen hindurchgehen muss und folglich dieser Bleistreifen, welcher bei der für den Draht zulässigen Maximalstromstärke zum Schmelzen kommt, die zu schützende Stromleitung unterbricht und somit jede Gefahr beseitigt.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die Bleisicherungen nur zum Schutze der Leitung und zur Verhütung der durch deren Überhitzung möglich werdenden Feuersgefahr, aber nicht zum Schutze der Lampen dienen, weil letztere schon bei einem geringen Anwachsen des Stromes über seine regelrechte Stärke infolge eines zu raschen Ganges der Maschine geschädigt werden, lange bevor noch der schwächste Teil der Leitung der Gefahr des Erglühens und Schmelzens ausgesetzt ist. Die Möglichkeit der Feuersgefahr, welche unter gewissen Umständen infolge von Beschädigungen der Leitung durch kurzen Schluss herbeigeführt werden kann, wird durch die Benutzung der Bleisicherungen vollständig beseitigt. Kurzer Schluss kann aber insbesondere da entstehen, wo die Leitungsdrähte mit danebenliegenden Gasröhren, mit Lampenarmen, mit Lampenkronenmontierungen und anderen äusseren Metallteilen nach Verletzung der Leitungsisolation in elektrische Verbindung treten.

Die Bleisicherungen haben mit Rücksicht auf die Verhältnisse, unter denen dieselben zur Verwendung kommen, verschiedenartige Konstruktion. Die unter unmittelbarer Aufsicht des Maschinenwärters stehenden Sicherungen, welche den Maschinen zunächst liegen und daher auch die stärksten Leitungsteile, durch welche der kräftigste Strom hindurch geht, zu schützen haben, sind entsprechend stark und dabei, mit Rücksicht auf billige Herstellung, auch möglichst einfach konstruiert.

Die Sicherungen, welche nicht fortwährend unter Aufsicht stehen, sondern in Wohnungsräumen, Büreaus, Magazinen u. s. w., öfter an feuchten oder wohl gar an feuergefährlichen Orten in die Lichtleitungen eingeschaltet sind, müssen mit Rücksicht auf vollkommene Isolation und Feuersicherheit in Porzellandosen eingeschlossen werden. Hierbei ist noch besondere Rücksicht darauf zu nehmen, ob etwa vorhandene brennbare Gase durch den erglühenden Bleistreifen entzündet werden können, und mit Bezug darauf ist es notwendig, den Bleistreifen luftdicht in den ausgehöhlten Dosendeckel einzugypsen oder in einen besonderen, in die Dose leicht einsetzbaren Gypsknopf einzuschliessen. Es ist hier auch auf die sehr zweckmässige und zuverlässige Einrichtung der Sicherungen hinzuweisen, welche darin besteht, dass nur ein richtiger, mit einem dem zu schützenden Leitungsteile entsprechenden Bleistreifen versehener Gypsknopf in die Sicherung eingesetzt werden kann.

Wäre darauf nicht Rücksicht genommen, so würde durch Einsetzen eines zu starken Knopfes die Sicherung überhaupt illusorisch gemacht werden, während ein Gypsknopf mit zu schwachem Bleistreifen schon bei einer noch zulässigen Stromverstärkung infolge des Durchbrennens die Leitung unnötiger Weise unterbrechen würde.

Ferner ist zu bemerken, dass die Bleisicherungen einpolig und zweipolig zur Verwendung kommen, die einpoligen Sicherungen werden in den positiven Leitungsstrang, das ist in die Stromhinleitung eingeschalte , während die zweipoligen Sicherungen gleichzeitig zum Schutz für den positiven und negativen Leitungsstrang, das ist für die Stromhin- und Rückleitung dienen, indem möglicherweise der Fall eintreten kann, dass wegen der in der Isolation entstandenen Fehler eine Erdverbindung oder kurzer Schluss zwischen einem (z. B. positiven) starken Leitungsstrange und einem dünnen, zum entgegengesetzten Teile der Leitung (also im angenommenen Falle zur negativen Leitung) gehörigen, mehr oder minder davon entfernten Drahte entstehen kann, wodurch, — ohne Anwendung zweipoliger Sicherungen, der schwache Draht durch den ihm auf diese Weise zugehenden zu starken Strom der Schmelzung ausgesetzt sein würde und Feuersgefahr entstehen könnte. Ausserdem bieten die zweipoligen Bleisicherungen den Vorteil, dass man dadurch an einer grösseren Anzahl von Stellen leicht vollständig Unterbrechungen der Leitung herzustellen vermag, welche man zum Zweck der streckenweisen Untersuchung

der Leitung auf vorhandene Fehler sehr gut benutzen kann.

Selbstverständlich werden diese Vorrichtungen nach Verlangen den Räumen, in denen sie Verwendung finden, und den Bedürfnissen entsprechend in den verschiedenartigsten Modifikationen von den einzelnen Firmen mehr oder minder geschmackvoll hergestellt.

Zum Schluss möge ein Apparat der **Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft** besprochen werden, auf dem wir viele der in diesem Kapitel erwähnten Apparate, soweit sie im Maschinenraum selbst untergebracht werden müssen, in recht übersichtlicher Weise zusammengestellt finden. Dieser Regulier- und Schaltapparat (Fig. 89) befindet sich in der elektrischen Beleuchtungsanlage der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft auf der Wiener Jubiläums-Gewerbeausstellung, welche nach Art einer Zentrale angelegt ist. Dieselbe ist für Versorgung von 1500 Glühlampen à 16 NK und 110 Bogenlampen à 12 Amp. (2000 NK) mit elektrischem Strom hergestellt und hat gegenwärtig ca. 1000 Glühlampen, welche sich auf die einzelnen Transepte, Pavillons und Rotunden des Ausstellungsparkes verteilen, und 100 Bogenlampen à 12 Amp. (2000 NK), welche die beiden sich kreuzenden Hauptwege des Parkes erleuchten, zu speisen. Wie aus dieser Lichtverteilung hervorgeht, erstreckt sich das Leitungsnetz in vielen Strahlen, welche untereinander durch Ausgleichsleitungen verbunden sind, über den Park. Den Strom liefern sechs Dynamos der bewährten Type P 400

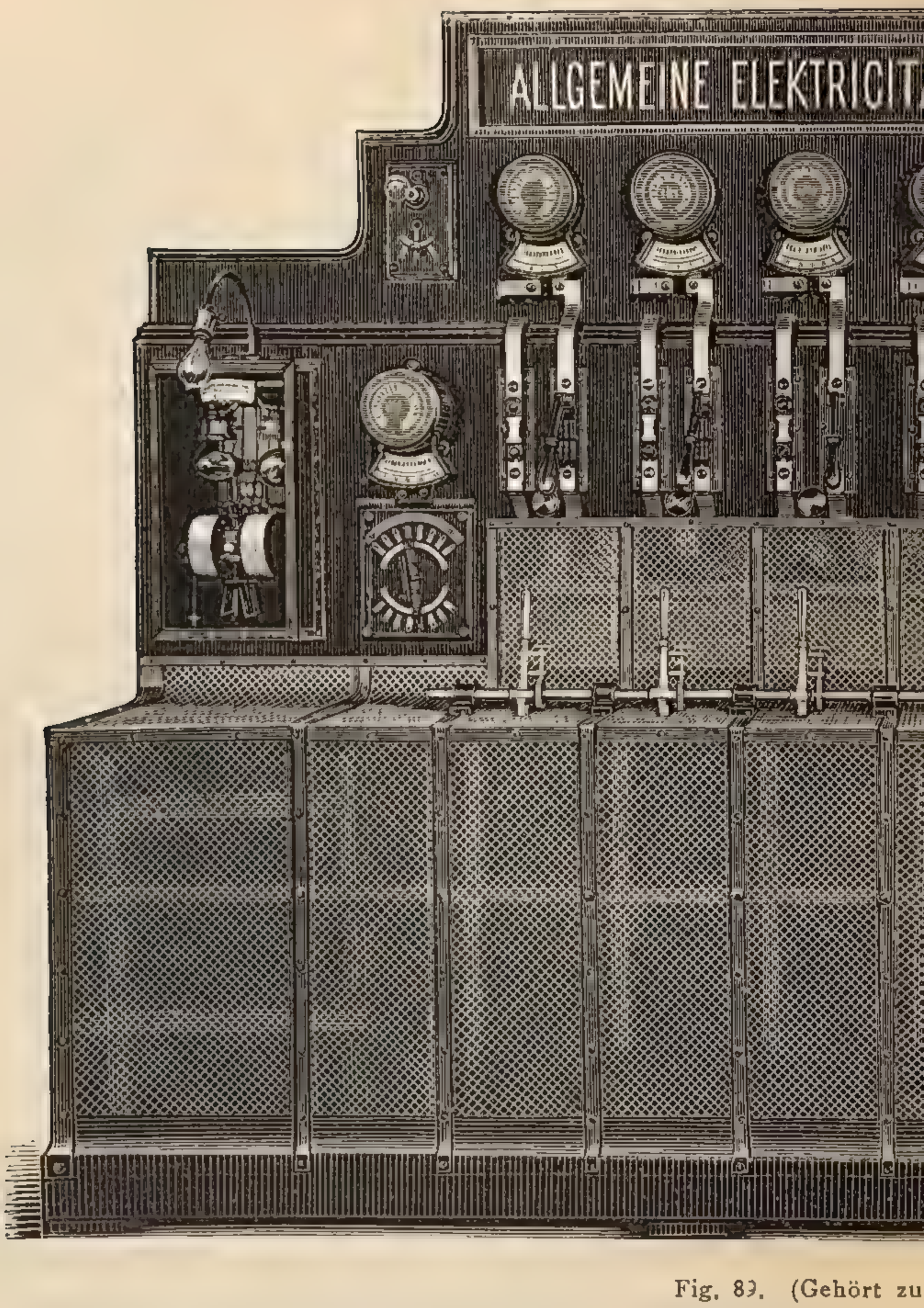
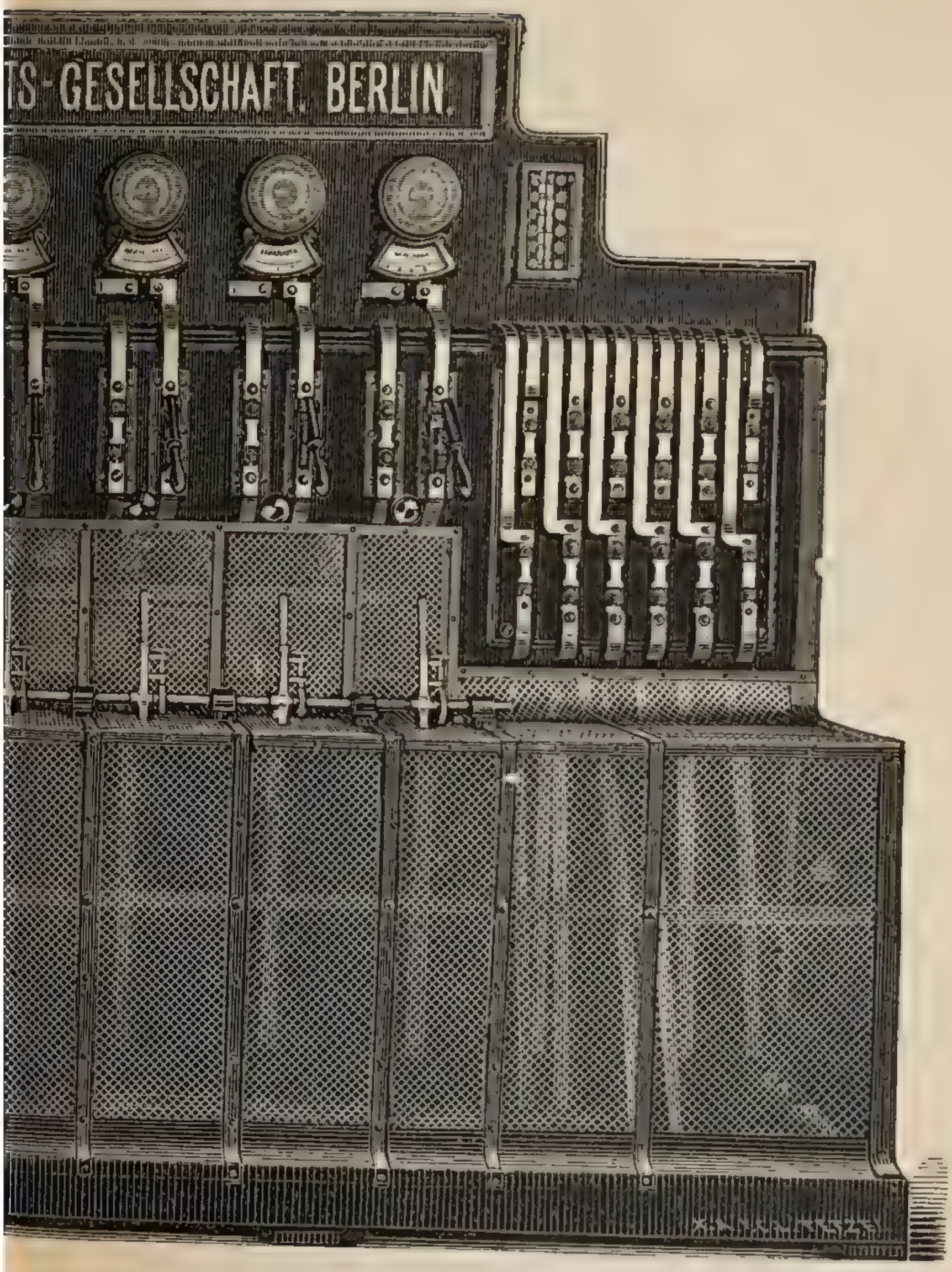


Fig. 89. (Gehört zu



em Text auf Seite 210.)

der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, welche mittelst Riemen von drei verschiedenen Transmissionen angetrieben werden. Letztere setzen drei Dampfmaschinen von 60 HP, 120 HP und 180 HP, welche Ausstellungsobjekte verschiedener österreichischer Fabrikanten sind, durch Drahtseilbetrieb in Bewegung.

Da elektrische Zentralstationen zumeist in Stadtvierteln angelegt werden, die reich an Läden, Magazinen, Hotels sind, wo naturgemäss also der Raum für Maschinenstationen beschränkt und kostspielig ist, so ist es von Wichtigkeit, diesen praktisch auszunutzen und alle Maschinen und Apparate so viel als thunlich zusammenzudrängen, ohne die Übersichtlichkeit und Betriebssicherheit dadurch zu beeinträchtigen. Dieser Bedingung entspricht in vorzüglicher Weise der oben abgebildete Apparat, indem er alle für Regulierung, Schaltung und Verteilung erforderlichen Einrichtungen in so übersichtlicher Weise vereint, dass die Bedienung leicht und zuverlässig von einem Arbeiter bewirkt werden kann. Derselbe ist für eine Station mit sieben Dynamos bestimmt, da jedoch deren sechs für die in Aussicht genommene Beleuchtung ausreichend erschienen, so blieb der letzte Anschluss unbenutzt.

Die von den Stromerzeugungsmaschinen ausgehenden Leitungen vereinigen sich an den im hinteren Teil des Apparates befindlichen Sammelschienen, nachdem sie einzeln die Strommesser und die darunter befindlichen Ausschalter passiert haben, und zweigen von diesen sodann

als Speiseleitungen sich ab. Die zum Ausgleich der letzteren dienenden Widerstände sind, wie die zur Regulierung des magnetischen Feldes der parallel geschalteten Dynamos dienenden Rheostaten in dem unteren Teile des Kastens untergebracht. Die Regulierung selbst wird durch Kontakthebel bewirkt, welche nach Bedürfnis in beliebigen Gruppen zugleich oder einzeln verstellt werden können.

Ausser den in die Stromzuleitungen eingeschalteten Stromunterbrechern und Strommessern befinden sich rechts oben in dem Kästchen die Abgleichwiderstände für die von den Verteilungskästen ausgehenden Spannungsleitungen. Dieselben vereinigen sich in den beiden Messingschienen, um von dort zu dem Signalspannungsmesser zu gelangen, welcher die mittlere Spannung des gesamten Leitungsnetzes anzeigt und Abweichungen von der normalen mittleren Spannung dem Wärter signalisiert; ausser diesem ist zur Kontrollierung der Maschinenklemmenspannung, besonders beim Ein- oder Ausschalten von Maschinen, ein nach dem Prinzipe der Stromzeiger gebauter Spannungszeiger vorhanden, welcher vermittelst des darunter befindlichen siebenpoligen Umschalters mit jeder Dynamomaschine leitend verbunden werden kann. Der über dem Spannungszeiger angebrachte Erdschlusszeiger mit Umschalter ermöglicht dem Dynamowärter jederzeit die Kontrolle über die Isolation der Leitungen.

VII.

Bau, Betrieb und Rentabilität der Zentralen.

Bevor wir auf die einzelnen Gesichtspunkte, welche bei dem Bau, dem Betriebe und der Rentabilitätsberechnung in Frage kommen, näher eingehen, wollen wir uns mit der Frage beschäftigen: Wer soll elektrische Zentralen bauen? Es gehört diese Frage sicherlich zu denjenigen, welche augenblicklich die Gemeinden wie die Elektrotechniker mit grossem Interesse verfolgen.

Von den verschiedenen Lösungen, deren dieses Problem fähig ist, hebt man in letzter Zeit besonders diejenige hervor, dass die Stadt sich die Zentrale liefern lässt und später den Betrieb selbst übernimmt. Auf den ersten Blick scheint diese Lösung sehr vorteilhaft zu sein, aber bei näherer Betrachtung bieten sich doch grosse Nachteile. Alle Begehungs- und Unterlassungssünden treffen in diesem Falle nämlich nicht den Schuldigen, sondern den glücklichen Besitzer, die Stadt. Die Folge würde sein ein Fiasko, welches die Verteilung der elektrischen Energie nur in Misskredit bringen würde.

Es bedarf keines besonderen Beweises, dass bei der Lösung der Frage nur das städtische Interesse in Betracht kommen kann. Es liegt der städtischen Verwaltung die Pflicht ob, dafür zu sorgen, dass die elektrischen Zentralen sich als ein möglichst zweckmässiges und für

die Stadt vorteilhaftes Unternehmen gestalten, und lediglich nach diesen Gesichtspunkten darf die uns beschäftigende Frage behandelt werden.

Demgemäss dürfte es sich besonders um zwei Modalitäten handeln, die Stadt baut die Zentrale und betreibt dieselbe entweder selbst oder übergiebt der den Bau ausführenden Gesellschaft den Betrieb.

Im ersten Falle würden sich mancherlei Schwierigkeiten einstellen. Eine derselben wäre die Personalbeschaffung. Die neu eintretenden Beamten müssten in den sonstigen technischen Beamtenstand aufgenommen werden. Man wäre daher aus gebieterischen administrativen Gründen gezwungen, gleiche Gehälter auszusetzen wie für die sonstigen technischen Beamten gleicher Stufe. Für diese Gehälter kann man aber, wenigstens gegenwärtig, keine genügend tüchtigen und ihrer immerhin recht schwierigen Aufgabe gewachsene Elektrotechniker beschaffen.

Ferner ist eine Stadt auch nicht wie eine Privatgesellschaft in der Lage, Verbesserungen einzuführen. In der Technik werden und müssen in den Anfangsperioden viele Opfer gebracht werden, verfehlte Einrichtungen müssen durch brauchbare, brauchbare durch bessere ersetzt werden. Da muss manches Stück in das alte Eisen wandern, wodurch viel Geldkosten entstehen, und es wird eine Stadtverwaltung kaum allen Bedürfnissen, wie sie ein derartiges Unternehmen an die Geduld

und den Geldbeutel stellt, gerecht werden können. Der eine Konsument wünscht vielleicht Stundung seiner Schuld. Ein Zweiter verlangt diese und jene Tariferleichterung. Der Dritte, welcher die elektrische Beleuchtung möglichst schnell haben will, wünscht eine Maschinenanlage geborgt zu erhalten bis zur Fertigstellung des Kabelnetzes resp. des Anschlusses, und so fort. Das sind alles Wünsche, welche zu erfüllen eine Stadtverwaltung nicht in der Lage ist.

Sodann würde es unstatthaft sein, die Verteilung der elektrischen Energie nur auf die bessern Stadtbezirke zu beschränken. Um das Projekt einer Zentrale in dieser Form durchzusetzen, würde man sich auch zur Versorgung ganz unrentabler Quartiere entschliessen müssen und damit die Prosperität des Unternehmens untergraben. Will man aber nicht auf die Rentabilität der Zentrale Verzicht leisten, so muss man langsam, Schritt für Schritt, vorgehen. Die Zentrale muss Stück für Stück entstehen und bedarf etwa zehn Jahre, bis sie gänzlich ausgebaut ist. Innerhalb der ersten zehn Jahre wäre die Bauthätigkeit also viel wesentlicher als der Betrieb.

Im zweiten Falle dagegen fallen diese Nachteile weg. Die Stadt würde die Zentrale zwar auf ihre Rechnung bauen, aber den Betrieb gegen Zinsgarantie und Gewinnanteil an die ausführende Gesellschaft verpachten. Die Anlagekosten kommen nicht in Betracht, da ja die Verzinsung garantiert wird. Man kann daher die Zentrale möglichst gut bauen und braucht nicht auf

Kosten der Güte der Anlage zu sparen. Der Pachtvertrag müsste mindestens auf zehn Jahre abgeschlossen werden.

Zu erwägen wäre auch noch die Möglichkeit, dass die Stadt an eine Gesellschaft ein Monopol mit dem Rechte giebt, die Zentrale nach Ablauf einer Reihe von Jahren ankaufen zu können. Auch hier fallen die im ersten Falle geltend gemachten Nachteile fort. Die Zentrale könnte ja erst nach Eintritt der Rentabilität angekauft werden. Ebenso könnte sich die Stadt von vornherein einen Gewinnanteil sichern. Einem Verluste ist sie in diesem Falle gar nicht ausgesetzt.

Zu erwägen bliebe freilich, ob die erwähnten Modalitäten berücksichtigt werden könnten, wenn die Stadt die Zentrale in Verbindung mit der Gasanstalt, sofern sie diese eigentümlich besitzt, betreiben wollte. In diesem Falle werden die obenerwähnten Nach- und Vorteile wohl schwerlich den Ausschlag geben. —

Wir kommen zu einer zweiten nicht minder wichtigen Frage: Welche Anforderungen muss man an eine Zentralstation stellen können?

Unter den Bedingungen, welchen eine Zentralstation genügen muss, dürfte vor allem die Zuverlässigkeit als die wichtigste angesehen werden. Man darf mit gutem Gewissen behaupten, dass heutzutage nahezu bei allen Verteilungssystemen, deren wir im III. Kapitel Erwähnung gethan, die regelmässige Lieferung elektrischer Energie sich genau mit derselben Sicherheit vollzieht,

wie etwa die von Wasser und Gas aus zentralen Lieferungsanstalten. Jedes System hat hierzu eine gewisse Reserve nötig, durch welche ein vollständiges oder teilweises Versagen verhindert wird, falls an irgend einer Stelle der Anlage ein Schaden eintreten sollte. Am geringsten braucht diese Reserve bei Zentralen mit Akkumulatorenbetrieb bemessen zu werden, da die in den Zellen aufgespeicherte Energie bereits einen gewissen Rückhalt darbietet. Bei den übrigen Systemen muss diese Reserve in Form mechanischer Energie, also in einem geheizten Kessel und vorrätiger Maschinenkraft, gegeben sein.

Eine zweite Forderung ist die Sicherheit für Leben und Eigentum. Dieselbe muss eine derartige sein, dass kein erheblicher Schaden entstehen kann, auch wenn diejenigen, welche den Strom benutzen, unvorsichtig verfahren und Sicherheitsvorschriften verletzen. In bewohnten Räumen wird man demnach nicht über Spannungsdifferenzen von ca. 300 Volt hinausgehen dürfen.

Auch dieser Forderung entsprechen die Gleichstromsysteme fast vollständig. Dasselbe gilt von den Wechselstromsystemen, da die Transformatoren es ja ermöglichen, Ströme hoher Spannung (die übrigens bei guter Isolation weit weniger Gefahr bieten, als man gewöhnlich annimmt) vor ihrem Eintritt in bewohnte Räume in solche niedriger Spannung zu verwandeln.

Ferner ist Wert zu legen auf eine vielseitige Verwendbarkeit des Stromes. Kommt in dieser Hinsicht nur die Beleuchtungsfrage in Betracht, so ist

jedes System fast von gleichem Werte. Etwas anderes ist es dagegen, wenn man auch die Anwendung von Elektromotoren ins Auge fasst. Diese Apparate sind entschieden dazu bestimmt, eine wichtige Lücke im jetzigen Geschäftsleben auszufüllen und andererseits den Stromverbrauch während der Tagesstunden, der Zeit der geringsten Ausnutzung der Anlage, zu erhöhen. Ebenso würde es vorteilhaft sein, von der Zentralstation auch den Strom zu elektrochemischen oder anderen Arbeiten erhalten zu können. Und da die Akkumulatoren immer mehr in den Vordergrund treten und sicherlich eine recht bedeutende Rolle in der Elektrotechnik spielen werden, muss auch die Möglichkeit gegeben sein, dieselben laden zu können. In letzteren Fällen würde allerdings ein Gleichstromsystem dem Wechselstromsystem vorzuziehen sein, da sich dem Betriebe von Motoren durch Wechselstrom immer noch grosse Schwierigkeiten in den Weg stellen und zur Zeit noch kein Wechselstrommotor bekannt ist, den man unbedenklich als den Bedürfnissen der Praxis vollständig entsprechend in Vorschlag bringen könnte, während für das Laden der Akkumulatoren eben nur Gleichstrom naturgemäss verwendet werden kann.

Eine unentbehrliche Bedingung, welcher eine elektrische Zentralstation genügen muss, ist der Tag und Nacht durchgehende Betrieb. Stets muss die elektrische Energie in dem Umfange verfügbar sein, für welchen die betreffende Station eingerichtet ist. Nach

dieser Seite hin scheint die Wahl eines Gleichstromsystems mit Akkumulatoren besonders vorteilhaft. Für dieses System ist es nicht nötig, dass wegen eines geringen Stromkonsums die ganze Anlage in Thätigkeit erhalten wird, während für die übrigen Systeme auch für diese Zeit immerhin noch eine beträchtliche Leistungsfähigkeit der Motoren und der elektrischen Maschinen erforderlich bleibt. Der durchgehende Betrieb lässt sich natürlich auch mit den anderen Systemen verrichten, wird aber stets weniger ökonomisch sein.

Sodann muss die von der Station gelieferte Energie messbar sein, damit sich der Abnehmer vor Übervorteilung und der Lieferant vor unwirtschaftlicher Vergeudung schützen kann. In gleicher Weise muss jeder Abnehmer in seinem Bezuge elektrischer Energie von allen anderen Abnehmern vollständig unabhängig sein. Es dürfen ihm nicht Unannehmlichkeiten auferlegt werden, die ihm die Verwendung der Elektrizität verleiden. Beiden Bedingungen kann bei dem gegenwärtigen Stande der Technik durchweg genügt werden.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist es auch, dass die elektrische Energie nicht für einen höheren Preis verkauft wird, als der Wertschätzung des elektrischen Lichtes im Vergleiche zu anderen Beleuchtungsarten angemessen erscheint.

Man hat daher Sorge zu tragen, dass die Anlagekosten einer Zentrale nicht zu hohe werden und auf die Billigkeit des Betriebes besonderes Gewicht zu legen.

Zu diesem Zwecke hat man sich zuerst mit der Frage zu beschäftigen: Wie viel Prozente von den angeschlossenen Verbrauchsstellen werden gleichzeitig elektrische Energie entnehmen? In Amerika und England hat man zumeist die Durchschnittsregel zu Grunde gelegt, dass zu Zeiten des höchsten Verbrauches ca. 60 % der angeschlossenen Lampen gleichzeitig im Gebrauch sind. Diese Regel darf indess keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen. Aus einem Diagramm der **Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft**, die wohl in Deutschland nach dieser Richtung die meisten Erfahrungen gesammelt haben dürfte, ergeben sich wesentlich andere Resultate. In demselben sind, wie wir einem Vortrage des Herrn Prof. **Rühlmann** entnehmen, für die verschiedenen Zeiten des Jahres die Maxima der gleichzeitig verbrauchten Ampère in Prozenten der überhaupt angeschlossenen Ampère dargestellt, wie dies die Erfahrungen des Jahres 1887 bei den beiden Berliner Elektrizitätswerken ergeben haben. Aus diesem Diagramme ist ersichtlich, dass nach der zweiten Hälfte des Dezember der Höchstwert von 81 % der überhaupt angeschlossenen Lampen erreicht wird, während dagegen nach Mitte Juli nicht mehr als 16 % der angeschlossenen Lampen gleichzeitig gebrannt haben. Jedenfalls ist dieser eigentümliche Verlauf der Kurve sehr bemerkenswert. Diese auffällige Erscheinung an derselben wird erklärlich, wenn man berücksichtigt, dass an die Berliner Elektrizitätswerke zwei Theater mit

angeschlossen sind, deren Lampenzahl ganz beträchtlich ins Gewicht fällt. Da aber für die nächste Zeit die Errichtung von Zentralen meist nur für solche Be-

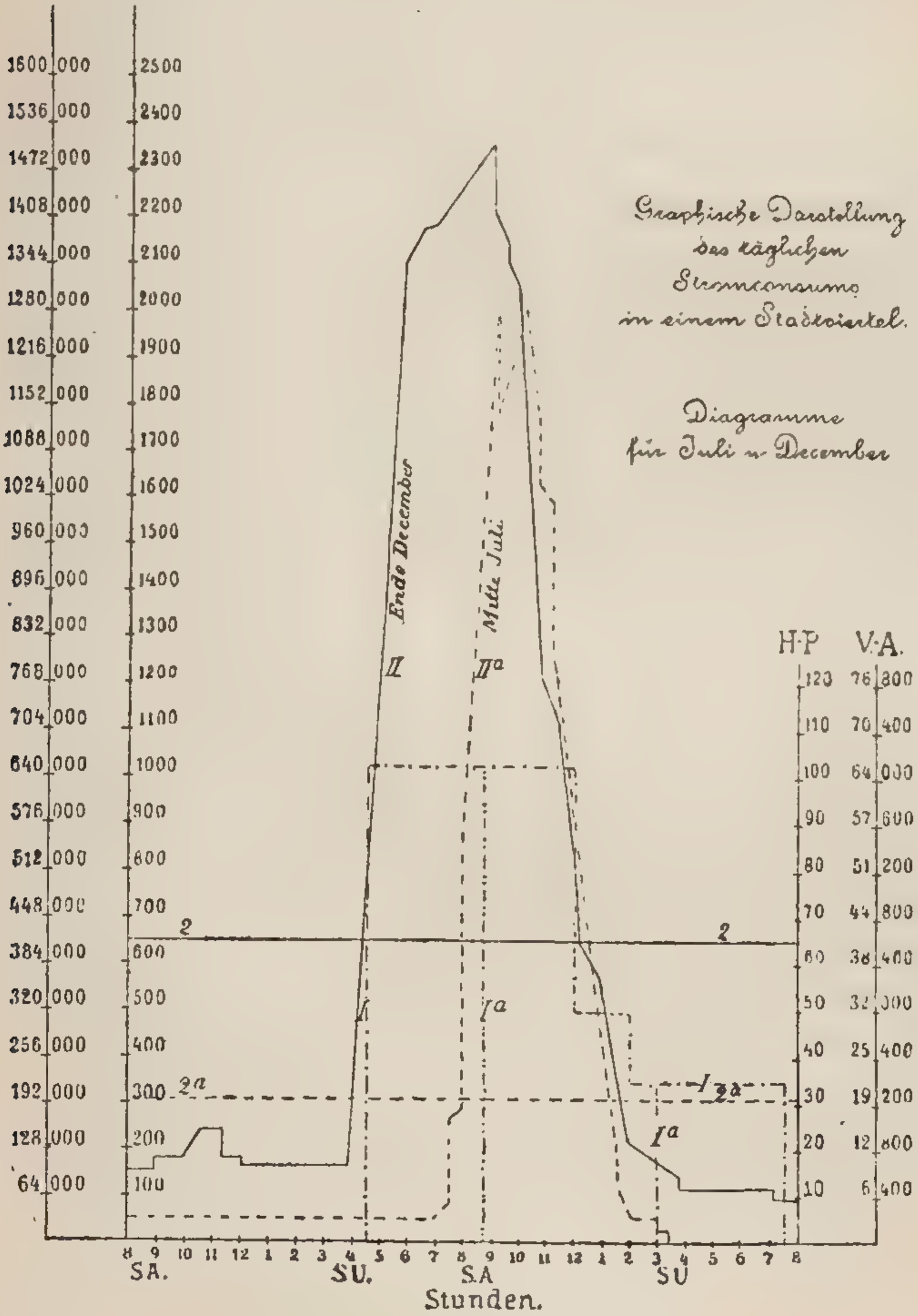


Fig. 90.

zirke in Betracht gezogen werden wird, welche so regelmässige Abnehmer, wie es Theater sind, mit einschliessen, so dürfte den Zahlen dieses Diagramms eine allgemeinere Bedeutung beigemessen werden.

Über die Schwankungen des Stromverbrauches während der einzelnen Tagesstunden, deren Kenntnis für die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes ebenfalls von grosser Bedeutung sind, giebt die beigefügte Figur 90 genügende Aufklärung. Die 24 Tagesstunden sind als Abscissen in einem rechtwinkligen Koordinatensystem aufgetragen, als Ordinaten die Zahl der Voltampère (die Pferdekraftzahlen sind der Übersichtlichkeit halber daneben notiert). Es sind die Diagramme für Mitte Juli und Ende Dezember nebeneinander gestellt, das erste Diagramm wird circa dem Minimalstromkonsum des Jahres, letzteres dem Maximum entsprechen.

Die Gesamtbeleuchtung eines Stadtviertels setzt sich zusammen aus dem Bedürfnis für die öffentliche und private Beleuchtung. Die Diagramme I und Ia veranschaulichen beispielsweise den Aufwand für die Strassenbeleuchtung; eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang werden plötzlich alle Lampen entzündet, der Aufwand an Arbeit erreicht sofort sein Maximum, welches je nach den behördlichen Verfügungen bis 11 oder 12 Uhr konstant anhält, später fällt der Konsum in ein oder zwei Abstufungen ca. $^1/_2$ Stunde vor Sonnen-Aufgang auf Null.

Für die private Beleuchtung (Hôtels, Theater, Restaurants, Cafés, Läden verschiedenster Art, Privat-

räume etc.), für welche die Hauptkonsumzeiten zu sehr verschiedenen Tages- bezw. Nachtstunden eintreten, sind ähnlich wie für die Strassenbeleuchtung Kurven konstruiert.

Es fällt sofort ins Auge, dass das Maximum des Stromkonsums nur während einer sehr kurzen Zeit eintritt, beide Kurven laufen in eine mehr oder weniger scharfe Spitze aus.

Die von den Kurven II und IIa eingeschlossenen Flächen geben die Zahl der Voltampèrestunden oder Pferdekraftstunden, welche während eines Tages insgesamt für die Beleuchtung aufzuwenden sind. Die Arbeit ist nicht, wie das Diagramm zeigt, gleichmässig während der Tages- und Nachtstunden zu leisten, sondern der Aufwand ist sehr verschieden. Diejenige Arbeit, welche während der 24 Tagesstunden in konstanter Grösse geleistet, denselben Aufwand erreicht, wie die schwankende Beleuchtung ihn verlangt, können wir leicht durch Ausrechnung der Flächen ermitteln. Die parallel der Abscissenachse gezogenen Linien 2 und 2a geben diese Arbeit an; die konstant zu leistende Arbeit beträgt Ende Dezember ca. 26 % von der maximalen Leistung, Mitte Juli ca. 15 % derselben.

Rühlmann hat für die Zentrale Markgrafenstrasse einen mittleren täglichen Stromverbrauch von wenig über 15 % der angeschlossenen Ampère gefunden. Nach einer von **Crompton** angegebenen Kurve ergiebt sich für London ein Mittelwert von etwas über 14 %. Diese

Mittelwerte stehen in einem eigentümlichen Widerspruch mit Angaben, welche man sonst als allgemein giltig annimmt. So ergeben z. B. 15 % von 24 Stunden eine mittlere tägliche Brenndauer der Lampen von 3,6 oder im Jahre 912 Brennstunden. Dagegen ist in den Entwürfen der Firma **Siemens & Halske** eine mittlere tägliche Brenndauer von 2,5 Stunden als Grundlage für die Berechnung der Betriebskosten und der voraussichtlichen Einnahmen von Zentralstationen gewählt. Es würde dies aber einer mittleren Jahresbelastung von wenig über 10 % entsprechen. Die **Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft** rechnet sogar für jede angeschlossene Lampe nur 550, die Firma **Ganz & Co.** dagegen wieder 800 Brennstunden. Wir werden also nicht zu sehr von der Wirklichkeit abweichen, wenn wir für ein vollständig entwickeltes Netz einer Zentralstation 10 % oder 2,5 Brennstunden pro Tag als durchschnittliche Belastung annehmen.

Als ein- für allemal giltig darf natürlich eine solche Zahl nicht angesehen werden; bei jedem besonderen Projekte werden wir auch auf besondere Eigentümlichkeiten der Stadt resp. des Bezirkes Rücksicht zu nehmen haben, die nicht unbeachtet gelassen werden dürfen. —

Ein Beispiel wird diese Verhältnisse näher erläutern.[1])

Es soll unter Zugrundelegung des von **Fritsche** vervollkommneten Zweileiter-Systems (vergl. Kap. III.) eine Zentralstation für ein Stadtgebiet, welches eine Kreisfläche von ca. 1000 m

[1]) Zentralblatt für Elektrotechnik 1888 No. 16.

Durchmesser bedeckt, gebaut werden, und zwar soll das in den Strassen dieses Gebiets zu verlegende Kabelnetz für 360000 VA nützlich verfügbare Energie ausreichen.

Es sei der gegenwärtig herrschende und in Zukunft zu erwartende Lichtkonsum angegeben und zwar seien durch Tabellen und danach konstruierte Diagramme (vergl. Fig. 96 bis 107), übersichtliche Bilder von den Konsumschwankungen je eines Monats gegeben. (Die in den Fig. 96 bis 107 dargestellten Diagramme beziehen sich nicht auf den absoluten Konsum in Voltampère, sondern auf Prozente des Maximums, so dass aber für ein jedes Maximum, welches je nach der Ausdehnung der Anlage in den verschiedenen Jahren zu erwarten ist, der thatsächliche Konsum sofort zu ermitteln ist.)

Vorläufig sei vorausgesetzt, dass der Lichtkonsum erst ein Drittel des für die Bestimmung des Kabelnetzes normierten Maximums, also nur 120000 VA erreicht, und soll dementsprechend auch die Kessel-, Maschinen- und Motoren-Anlage nur für diese Nutzleistung errichtet werden.

Die erste Aufgabe ist die Dimensionierung des Kabelnetzes. Ein Kabelnetz, welches stets bei den teuren Kupferpreisen, bei der erforderlichen sorgfältigen Isolation, den kostspieligen Verlegungsarbeiten etc., ein grosses Anlagekapital repräsentiert, kann nur auf Grund sorgfältiger Prüfung und Erkenntnis der herrschenden Bedürfnisse einerseits und anderseits der Art und Weise, wie

demselben mit dem geringsten Aufwand zu entsprechen ist, disponiert werden.

Die Basis des gesamten Projekts bilden möglichst umfangreiche statistische Erhebungen über den Lichtkonsum in dem zu erleuchtenden Stadtgebiet.

Diese Ermittelungen sind sowohl für die Disposition des Kabelnetzes, wie für die der Kessel-, Motoren- und Maschinen-Anlage nach ganz bestimmter Richtung hin zu verwerten.

Es genügt zur Projektierung einer Zentralstation für elektrische Beleuchtung nicht nur die Kenntnis des Lichtbedürfnisses in nackten Zahlen, z. B. Zahl der Glühlampen und Anzahl der Bogenlampen bestimmter Stärke zu haben, sondern es ist auch erforderlich, ein möglichst genaues Bild der Konsumschwankungen während der 24 Tagesstunden zu verschiedenen Jahreszeiten zu konstruieren. Durch die bereits erwähnten Diagramme wird diesem Bedürfnis entsprochen. Die hieraus zu entnehmenden Daten in Verbindung mit den Angaben über Ausdehnung des Stadtgebietes und Gruppierung der Lampen geben die Ausgangspunkte zur Bestimmung des Kabelnetzes.

Diese Daten führen, kurz gesagt, zur Ermittelung eines ökonomischen Querschnittes der Kabelleitungen, nach Feststellung des Verlustes (in Prozenten des Maximums der Nutzleistung), den man im Leitungsnetz verloren geben darf. Die Kabelquerschnitte der Verteilungsleitungen werden einerseits durch die Ausdehnung des

Netzes, andererseits durch die Anzahl der anzuschliessenden Lampen bestimmt. Es besteht dabei die Forderung, dass von einem Knotenpunkt bis zum nächsten anderspoligen nur ein bestimmter Spannungsabfall auftreten darf (1—1½ Volt).

Die Anzahl der Knotenpunkte wird teilweise durch die örtlichen Verhältnisse direkt bestimmt, z. B. durch Anhäufung von grösseren Lampengruppen an bestimmten Stellen (etwa durch die Lage eines Theaters), teils aber hängt sie von der Rentabilitätsberechnung ab, die über Querschnitte und Zahl der Zuleitungen entscheidet.

Im allgemeinen wird die Anzahl der Zuleitungen mit der Grösse des Maximalstromkonsums wachsen, die Querschnitte derselben jedoch nicht direkt. Für die Querschnitte der Zuleitungen ist der zulässige Spannungsabfall in denselben massgebend, welcher in direkter Abhängigkeit von dem mittleren Stromkonsum steht.

Anstatt einen geringen Spannungsabfall zu berücksichtigen, also starke Querschnitte zu wählen, wie sie einem vorübergehenden Maximal-Stromkonsum entsprechen würden, soll man den zulässigen Verlust und damit die Zuleitungsquerschnitte stets nach einem mittleren Stromkonsum bestimmen, es wird in diesem Falle bald ein grösserer, bald ein kleinerer Spannungsverlust in den Leitungen entstehen, stets aber ein mittlerer ökonomischer Verlust.

Diese Grundsätze haben im vorliegenden speziellen Falle in folgender Weise Berücksichtigung gefunden:

Es wird die Verteilungsleitung durch eine genügende Anzahl positiver und negativer Zuleitungsstränge mit der Zentralstation verbunden und erfolgt dabei eine vollständig zweckentsprechende Verteilung der Nutzleistung von 360000 VA.

Die Wahl der Anzahl Zuleitungen und die Feststellung der Querschnitte derselben sind nach Massgabe des zu erwartenden mittleren Jahreslichtkonsums getroffen, indem der entstehende mittlere Spannungsverlust in den Leitungen so festgesetzt wurde, dass die erwachsenden Mehrbetriebskosten nicht ins Gewicht fallen, anderseits aber auch das Anlagekapital nicht zu gross wird, was bei einem zu kleinen Leitungsverlust wegen der grossen Querschnitte eintreten würde.

Aus den gezeichneten Diagrammen für die zwölf Monate ist zunächst der mittlere Konsum für jeden Monat, und dann der mittlere Jahreskonsum gefunden, welcher sich zu 16,375 % des Maximalkonsums ergiebt, (vergl. auch die Tabelle S. 244).

Es werden von den 360000 VA maximaler Nutzleistung im Mittel, also 16,375 %, also 58932 VA konsumiert. Diesem Durchschnittswert muss auch der Durchschnittsverlust entsprechen, soll eine Ökonomie in Anlage und Betrieb erreicht sein. Der gesamte Spannungsverlust in den Zu- und Verteilungsleitungen bei dieser in Zukunft zu erwartenden mittleren Leistung ist zu

3,5 % der Nutzspannung angenommen. Wie wir später aus der Rentabilitätsberechnung dieses Beispieles (S. 240) ersehen werden, ergiebt sich bei dieser Annahme ein sehr befriedigender Einheitspreis für die Lampenbrennstunde, als Beweis dafür, dass bei einem solchen Prozentsatz Anlagekapital und Betriebskostenverhältnisse genügend berücksichtigt werden.

Um nun die Verluste, welche während aller vorkommenden Konsumschwankungen eintreten, zu veran-

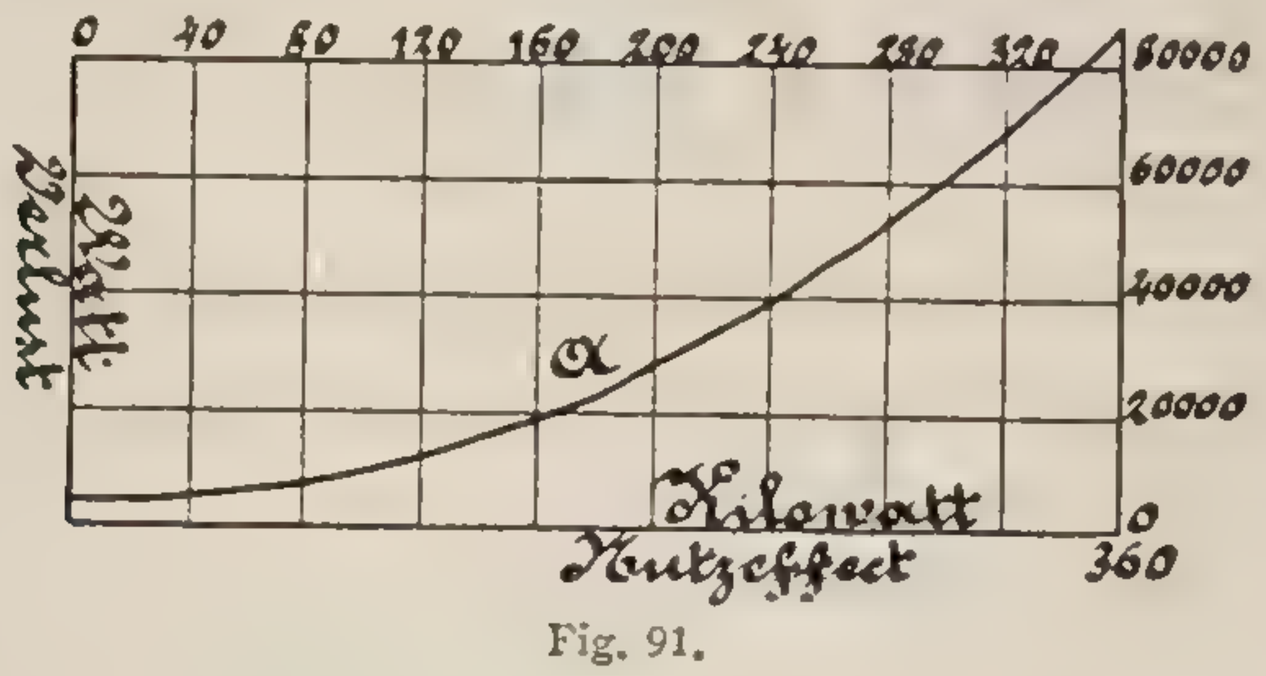


Fig. 91.

schaulichen, ist entsprechend der Annahme, dass bei 16,375 % von 360000 VA bei 58932 VA der Verlust an Spannung 3,5 % beträgt, der entsprechende Verlust in Voltampère für verschiedene Nutzleistungen ermittelt und die Kurve a (Fig. 91) gezeichnet. Für alle (von 1 bis 360000 VA = 360 Kilo-Watt ansteigend) Nutzleistungen, die als Abscissen aufgetragen sind, geben die Ordinaten die entsprechenden Verluste in Voltampère oder Watt. Aus der Kurve a ist zu ersehen, dass bei voller Inanspruchnahme 77400 VA Energieverlust auftritt, also ca. 21,5 % von 360000 VA.

Dieser Verlust ist bei Dimensionierung der Leitungsquerschnitte so verteilt, dass in den Zuleitungen 20 % Verlust auftreten, in den Verteilungsleitungen 1,5 % der Nutzleistung, oder, da wir 100 Volt als Nutzspannung an den Lampen haben, 20 Volt bezw. 1,5 Volt.

Bei der vorläufig zu erwartenden Maximalleistung von 120000 VA ergiebt sich die mittlere Leistung pro Brennstunde im ganzen Jahre zu 16,375 % davon, also zu 19650 VA, und dieser mittleren Leistung entspricht sogar nur bei den gewählten Kabelquerschnitten der ausserordentlich geringe mittlere Spannungsverlust von 1,17 %.

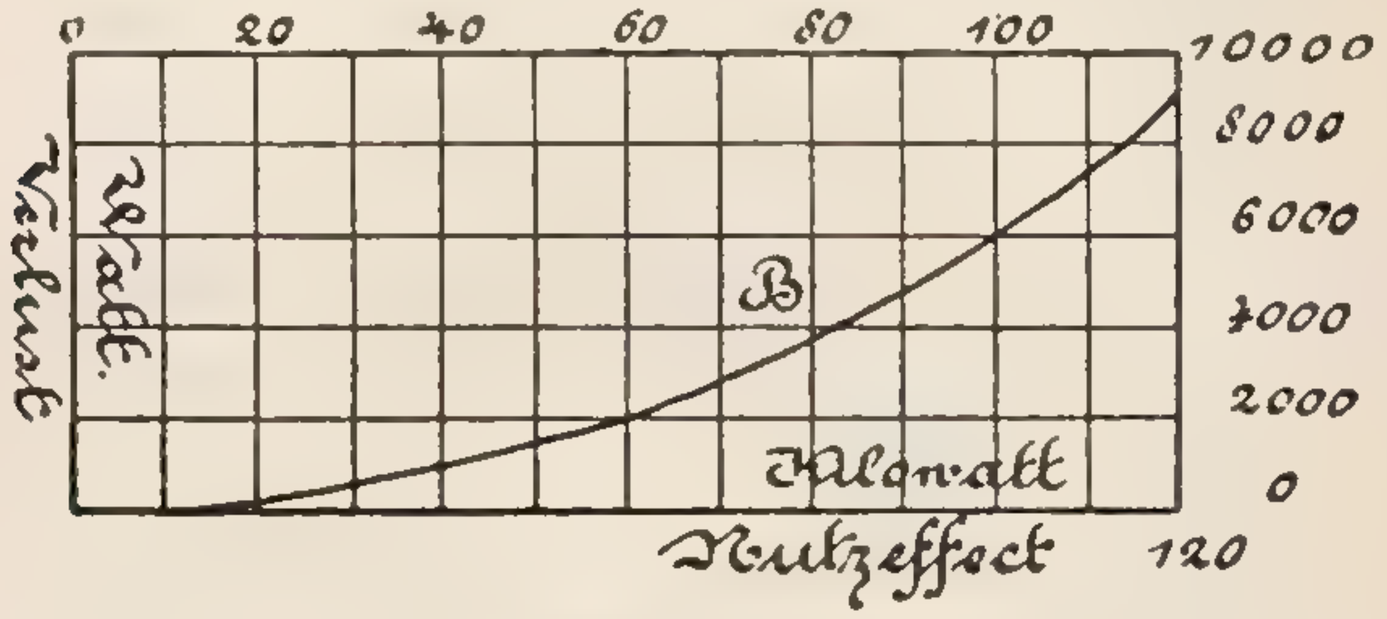


Fig. 92.

Für diesen Fall ist in Fig. 92 in grösserem Massstabe nochmals die Verlustkurve B gezeichnet, aus der der schwankende Verlust an Voltampère für die verschiedenen Stromstärken abzulesen ist.

Mit Hilfe dieser beiden Kurven A und B können wir nun leicht für die beiden Fälle, wo das eine Mal das Maximum des Lichtkonsums 360000 VA und das andere Mal nur 120000 VA beträgt, für jeden Monat die Verlustschwankungen entsprechend den Strom-

schwankungen konstruieren, was wir für Dezember und Juni ausführen wollen.

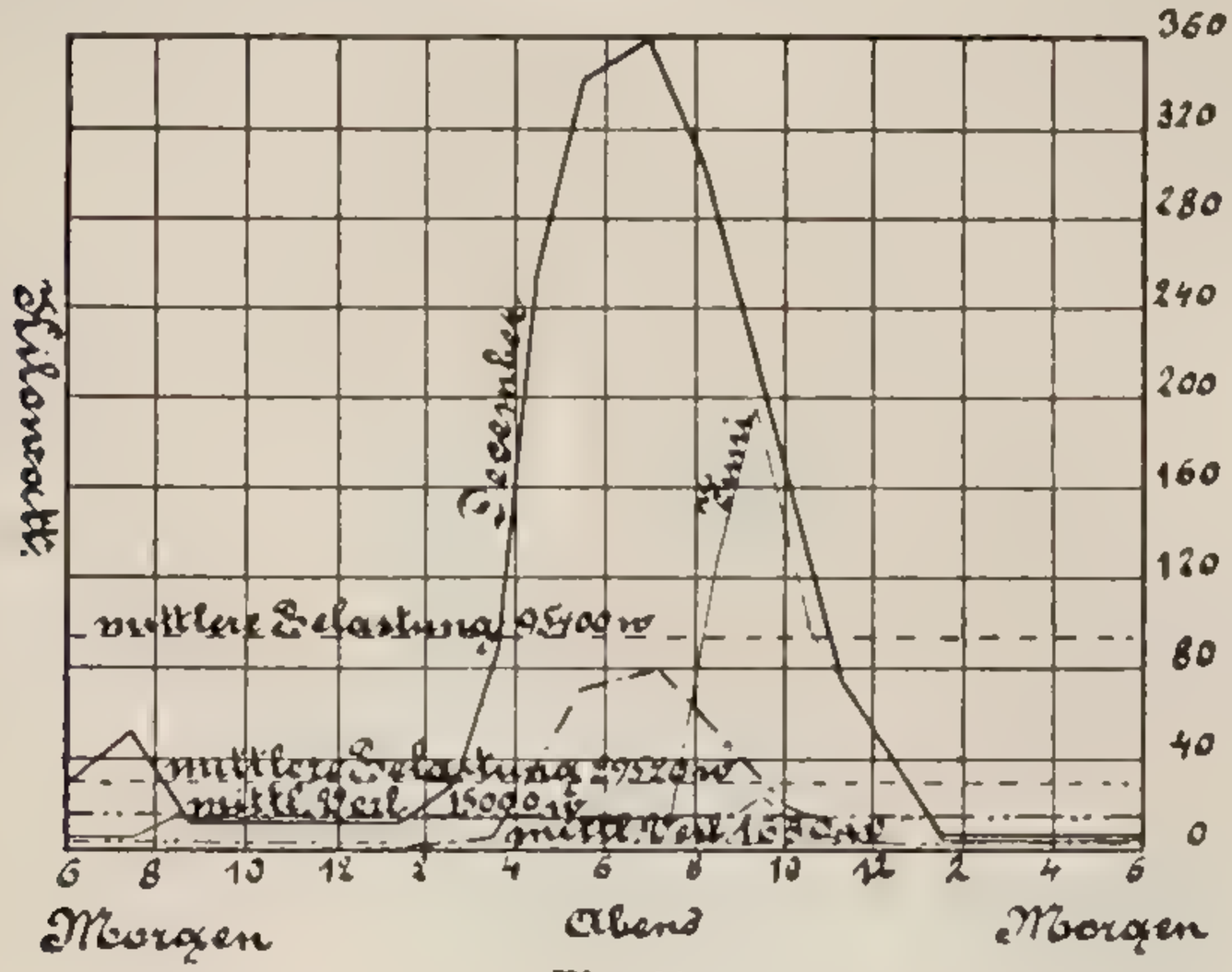


Fig. 93.

In Figur 93 ist der Lichtkonsum in Voltampère resp. Kilowatt für den Monat Dezember und Juni auf der Ordinatenachse aufgetragen, wie er zu den verschiedenen Tagesstunden, (die als Abscissen aufgetragen sind), herrscht. Aus der Berechnung der Fläche ist der mittlere Konsum zu 26,5 % des Maximums zu 95400 VA ermittelt, diese mittlere Leistung ist durch eine punktierte Linie parallel zur Abscissenachse markiert. Die strichpunktierte Kurve veranschaulicht den aus der Kurve A (Fig. 91) ermittelten Leitungsverlust, der sich daraus ergebende mittlere Energieverlust in Voltampère für den Monat Dezember ist ebenfalls durch eine entsprechend strichpunktierte Linie markiert. Der mittlere Verlust im Dezember ist natürlich grösser als der mittlere Jahresverlust, er berechnet sich aus dem Diagramm zu 15,7 %

der mittleren Leistung in diesem Monat. Für den Monat Juni, in dem der geringste Lichtkonsum herrscht und dementsprechend auch der geringste Leitungsverlust, erreicht der mittlere Verlust nur 5,6 % des mittleren Lichtkonsums.

Bei dem vorläufig nur zu erwartenden Maximum von 120000 VA werden die Leitungsverluste natürlich nur sehr geringe sein. Mit Hilfe der Kurve B können wir diese Leitungsverluste für die beiden Monate Dezember und Juni ebenfalls genau konstruieren.

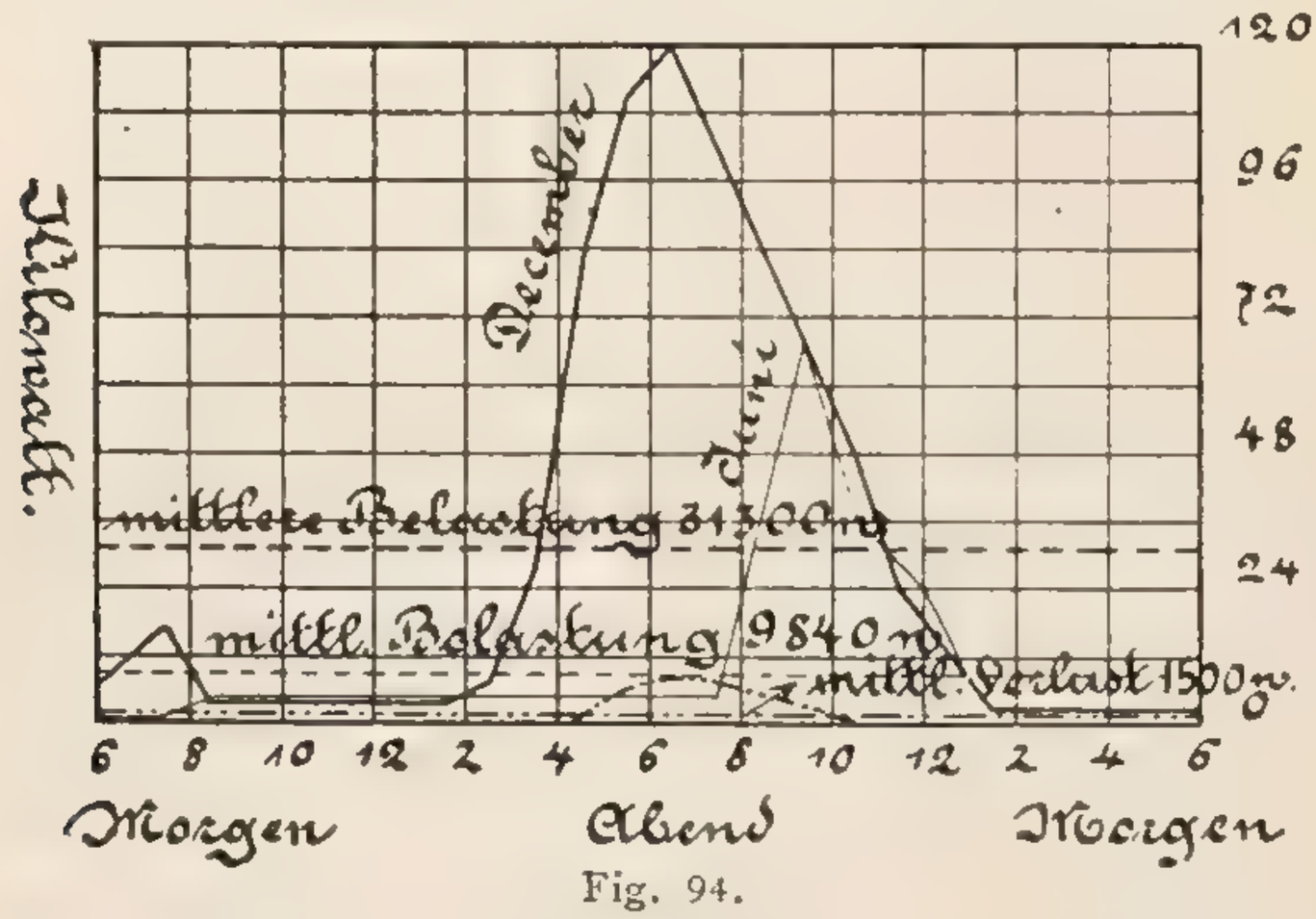


Fig. 94.

Der mittlere Leitungsverlust an Voltampère beträgt im Monat Dezember in diesem Falle 4,71 % der mittleren Leistung, im Juni nur 2,02 % der dann nötigen mittleren Leistung. (In der Fig. 94 konnte die den mittleren Verlust im Monat Juni markierende Parallele zur Abscissenachse nicht eingetragen werden, weil der Massstab nicht genügend gross gewählt werden konnte; es sind deshalb auch in beiden Fig. 93 und 94 die Verlustkurven nur teilweise zum Ausdruck gekommen.)

Die statistischen Ermittelungen über den Lichtkonsum geben nun ausser für die Disposition des Kabelnetzes auch Anhaltspunkte für die Disposition der Kessel-, Motoren- und Maschinen-Anlage.

Wie erwähnt, gilt als programmmässig speziellere Bedingung, dass die Maschinenanlage nur für ein Drittel der Nutzleistung, für welche das Kabelnetz berechnet werden musste, veranschlagt werden soll.

Die statistischen Erhebungen haben ergeben, dass im Sommer der Lichtkonsum nicht die Hälfte desjenigen der Wintermonate erreicht; im Monat Dezember werden 26,5 % des Maximums erreicht, im Juni nur 8,2 %.

Die Maschinenanlage entspricht also vorläufig nur einem Maximum von 120000 VA und zwar unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die mittlere Jahresleistung nur 16,375 % des Maximums also 19650 VA erreicht.

Diesen Betriebsverhältnissen wird entsprochen durch drei Sicherheits-Röhrendampfkessel von je 100 qm Heizfläche, sowie zwei Kompound-Dampfmaschinen, welche 90 bezw. 150 HP. im Maximum leisten können. Da diese Leistung nur vorübergehend verlangt wird, so müssen die Dampfmaschinen bei einer geringeren mittleren Leistung rationell arbeiten, jedoch so stark sein, dass sie die Maximalleistung bewältigen. Es sind zwei Maschinen gewählt, um dem Tages- und Spätnachtbetrieb Rechnung tragen zu können. —

Wir wenden uns nun zu dem Punkte, um welchen in letzter Zeit ein heftiger Kampf geführt wird, nämlich

zu der Frage, welches System verdient vor den anderen den Vorzug? Diese Frage wird nie ohne weiteres beantwortet werden können; ja selbst eine Vergleichung der hier in Frage kommenden Systeme kann nur skizzenhaft und einseitig werden. Man wird stets dabei von einem System ausgehen und unter gleichen Bedingungen die anderen betrachten. Von einem anderen System aus gesehen, wird das Bild ein ganz anderes. Eine Vergleichung der einzelnen Systeme wäre höchstens in bezug auf Anlage- und Betriebskosten möglich, wobei zu untersuchen wäre, welches System sich am teuersten und welches sich am billigsten bei gleicher Leistung stellen würde. Aber die hierauf bezüglichen Rechnungen von massgebenden Autoritäten haben ergeben, dass die beiden Beträge für die verschiedenen Systeme nahezu gleich gross sind. So stellen sich beispielsweise die Kosten einer Zentralstation für 10000 gleichzeitig brennende Lampen nach **Crompton** bei Benutzung eines Akkumulatorensystemes und Transformatorensystemes folgendermassen.

Mit Akkumulatoren.		Mit Wechselströmen und Transformatoren.	
	ℳ		ℳ
Beweg. Kraft 1000 Pf.-K.	174400	Beweg. Kraft 1450 Pf.-K.	249600
Dynamos	96000	Dynamos und Erreger	110800
Kosten des Raumes	160000	Kosten des Raumes	220000
Primäre Leitung	73600	Prim. Leitung	48000
Legen derselben	30000	Verteilungsleitung	168000
Verteilungsleitung	192000	Verbindungsträger	18000
Verbindungsträger	18800	Regulierungsapparate	10000
4 Batterien zu 50 Elem.	172000	Transformatoren	150000
Regulierungsapparate	20000		974400
	936800		

Ebenso findet **Rühlmann,** welcher unter Zugrundelegung eines kreisförmigen Bezirkes von 750 m Radius, in dem 10000 Glühlampen an das Leitungsnetz angeschlossen sind, die hauptsächlichsten Verteilungssysteme vergleicht, dass die Anlagekosten und Betriebsausgaben für dieselben fast dieselbe Höhe erreichen.

Je nach den für das eine oder andere System günstigeren Verhältnissen in örtlicher oder anderer Hinsicht werden sich natürlich auch die Kosten für das betreffende System vermindern. Nach unserer Meinung sollten daher für die Wahl des einen oder des anderen Systemes in erster Linie die Lage des zu erleuchtenden Bezirkes, der Konsum und die Frage, wozu die Elektrizität verwendet werden soll, und erst in zweiter Linie die Anlage- und Betriebskosten den Ausschlag geben. Oft wird ein System trotz der etwas grösseren Betriebskosten vor anderen der örtlichen Verhältnisse wegen den Vorzug verdienen, oft muss der tägliche Konsum oder die Verwendungsart u. s. w. ausschlaggebend sein. Nachteile und Vorteile besitzt, wie wir bereits ausgeführt und noch ausführen werden, ein jedes System. Ein System, für alle Verhältnisse in vollkommenster Weise passend, existiert bisher noch nicht.

Das Zweileitersystem wird in Fällen, in welchen die Kosten des Leitungsmateriales im Vergleiche zu den übrigen Kosten keinen zu grossen Teil ausmachen, bei seiner durch grosse Einfachheit und Durchsichtigkeit ausgezeichneten Art der Anordnung anderen Systemen stets

vorzuziehen sein, aber für grössere Stromlieferungsanstalten wohl nicht in Betracht kommen dürfen, während es in der durch **Fritsche** und ebenso durch **Alioth & Cie.** vervollkommneten Gestalt (vergl. Kapitel IV.) auch in letzterer Beziehung wieder empfohlen werden kann. Das Dreileitersystem gestattet wohl die vielseitigste Anwendung, wird aber stets nur für kompakte Bezirke Berücksichtigung finden, wo der Lichtkonsum sich auf ein verhältnismässig kleines Terrain beschränkt. Für zerstreut liegende Annahmestellen, z. B. für eine langgestreckte Stadt mit vielen Vororten, die ebenfalls in das Leitungsnetz hineingezogen werden sollen, wählt man am besten ein Transformationssystem, und zwar kann es ein Wechselstromsystem sein, sofern es sich nur um die Errichtung einer Beleuchtungszentrale handelt, d. h. sofern nur die Verwendung des elektrischen Stromes zum Bogen- und Glühlicht in Frage kommt. Besitzt aber eine solche Stadt im Innern wie in ihren Vororten viele industrielle Etablissements, in denen die Elektrizität ausser zur Beleuchtung in Zukunft sicherlich noch anderweitige Verwendung finden wird, beispielsweise zum Betrieb von Motoren für kleinere Maschinen, so wird man wieder einem Gleichstromsystem den Vorzug geben müssen. Man kann in einem solchen Falle auf zweierlei Wegen zum Ziele gelangen, entweder legt man mehrere kleinere Zentralen an, die untereinander verbunden werden und sich je nach Bedürfnis in ihren Leistungen ergänzen — wie dies vor kurzem mit recht glücklichem Erfolge in

Berlin zur Ausführung gekommen ist — oder man benutzt ein System mit Akkumulatorenbetrieb. Zu Gunsten eines Betriebes mit Akkumulatoren spricht der Umstand, dass ein derartiges System alle Vorteile der übrigen in sich vereinigt. Bei einem solchen ist die Vielseitigkeit der Anwendung elektrischer Energie ebenso gross wie beim Dreileitersystem, anderseits tritt dem System die Entfernung nicht hindernd in den Weg. Die Einrichtung von kleinen Nebenzentralen, in denen von der Hauptstation die Akkumulatoren geladen werden, giebt uns die Möglichkeit, die elektrische Energie ebenso weit zu leiten, wie es mit Hilfe eines Transformatorensystems möglich ist (siehe Seite 301). Ist auch ein solches System noch mancher Vervollkommnungen fähig und von allen in der ersten Anlage das teuerste, so muss dasselbe doch für viele Verhältnisse als das zweckentsprechendste und im Betriebe am meisten ökonomische System bezeichnet werden. Gelingt es, was wahrscheinlich, die Akkumulatoren noch mehr zu vervollkommnen und billiger herzustellen, so wird dasselbe voraussichtlich in der Zukunft die erste Stelle einnehmen. —

Wir kommen endlich zum letzten Punkte, nämlich zur Ermittelung der Betriebskosten und der Rentabilitätsberechnung, die wir an einigen Beispielen erläutern wollen.

Die gewählten Beispiele sind teilweise thatsächlich ausgearbeiteten Kostenanschlägen entnommen, auf Grund deren grösstenteils Abschlüsse bereits erfolgt sind.

Die Gesamtunkosten setzen sich aus folgenden Hauptpositionen zusammen:

1) die Verzinsung des Anlagekapitals,
2) die Amortisations- und Reparaturkosten,
3) die Betriebskosten im weiteren Sinne, wie
   a. die Verwaltungskosten,
   b. die Ausgaben für Kohlen oder Koke, Öl, sowie kleine Reparaturen und Diversa.

Das Gesamtanlagekapital[1]) für eine Zentralstation von dem oben Seite 226 besprochenen Umfange unter Zugrundelegung des von **Fritsche** vervollkommneten Zweileitersystems, beläuft sich bei Annahme sehr ungünstiger Konjunkturen, hoher Kupferpreise etc. excl. Bauplatz auf rund 470000 ℳ, und zwar verteilt sich diese Summe auf folgende Einzelpositionen:

Kosten für das Gebäude	15000.—
„ „ die Dampfmaschine	29850.—
„ „ „ Dampfkessel	32150.—
„ „ „ Brunnen und Entwässerungsanlage	20000.—
„ „ „ Dynamomaschinen	17300.—
„ „ „ Apparate	6700.—
„ „ das Kabelnetz	349000.—
	ℳ 470000.—

Für die Verzinsung dieses Anlagekapitals ist ein Zinsfuss von 4 % in Ansatz gebracht. 4 % von 470000 ℳ = 18800 ℳ. Diese jährlichen Zinsen verteilen sich auf $24 \times 365 = 8760$ Stunden, also erhalten wir pro Stunde 2,14 ℳ.

[1]) Zentralbl. f. E. 1888.

Dieser Betrag wird als Ordinate in einem rechtwinkeligen Koordinatensystem aufgetragen, auf deren Abscissenachse die Voltampère-Nutzleistung (bezw. ihre Äquivalente an Lampen oder Pferdekräften) aufgetragen sind. Die Verzinsung ist unabhängig von der Anzahl der gleichzeitig brennenden Lampen zu verrechnen, wir erhalten also eine Parallele zur Abscissenachse.

Für die Amortisation und Reparaturkosten sind folgende Ansätze berücksichtigt:

Für Gebäude 2 % von ℳ 15000	= ℳ	300
„ Dampfmaschinen 5 % von ℳ 29850 .	= „	1492,5
„ Dampfkessel 10 % von ℳ 32150 . .	= „	3215
„ Brunnen- und Entwässerungs-Anlagen 5 % von ℳ 20000	= „	1000
„ Dynamomaschinen 5 % von ℳ 17300.	= „	865
„ Apparate 10 % von ℳ 6700 . . .	= „	670
„ Kabel 5 % von ℳ 349000	= „	17450
	ℳ	24992,5.

Diesen jährlichen Kosten entspricht ein stündlicher Aufwand von ℳ 2,85, die wir ebenfalls als Ordinate auftragen und so eine zweite Parallele zur Abscissenachse erhalten.

Die Verwaltungskosten setzen sich aus folgenden Einzelsätzen zusammen:

1) Gehalt für den Dirigenten des Werkes	ℳ	3000
2) „ „ „ Maschinenführer . . .	„	2000
3) „ „ zwei Heizer	„	2400
4) „ „ den Kabelkontrolleur . .	„	2400
5) „ „ „ Regulierer	„	1500
6) Büreaukosten	„	1200
	ℳ	12500.

Diese Jahresausgabe ergiebt einen stündlichen Aufwand von ℳ 1,42.

Mithin haben wir an konstanten Kosten, gleichviel, ob das Werk mehr oder weniger in Anspruch genommen wird, pro Stunde ℳ 6,41.

Die je nach der Lampenzahl wechselnden Betriebsunkosten setzen sich aus folgenden Ausgaben zusammen:

Ausgaben für Kohlen oder Koke,
„ „ Öl und Putzlappen,
„ „ Diversa und kleine Reparaturen.

Bei Ermittelung der Ordinaten im Diagramm (Fig. 95), die den schwankenden Aufwand an Kohle oder Koke etc. angeben, ist natürlich die effektiv für die Produktion der auf der Abscissenachse notierten Nutzleistung erforderliche mechanische Arbeit berücksichtigt, also gelten diese Ordinaten für den Gesamtbruttoaufwand incl. Verluste in den Kabeln.

Der Ermittelung des Dampfverbrauches und des entsprechenden Kokeaufwandes liegen folgende Annahmen zu Grunde:

Der Dampfverbrauch beträgt pro effektive Pferdekraft und Stunde 10 kg; die Verdampfungsfähigkeit der Koke ist als eine siebenfache angenommen. 7 kg Dampf = 1 kg Koke. Der Preis für 1000 kg Koke ist ℳ 13. Für die Leergangarbeit sind ca. 20 % des Kokes, der für die effektive Leistung erforderlich ist, in Ansatz gebracht.

Die Ermittelung der thatsächlich mit Berücksichtigung aller Tagesschwankungen auftretenden Unkosten in den

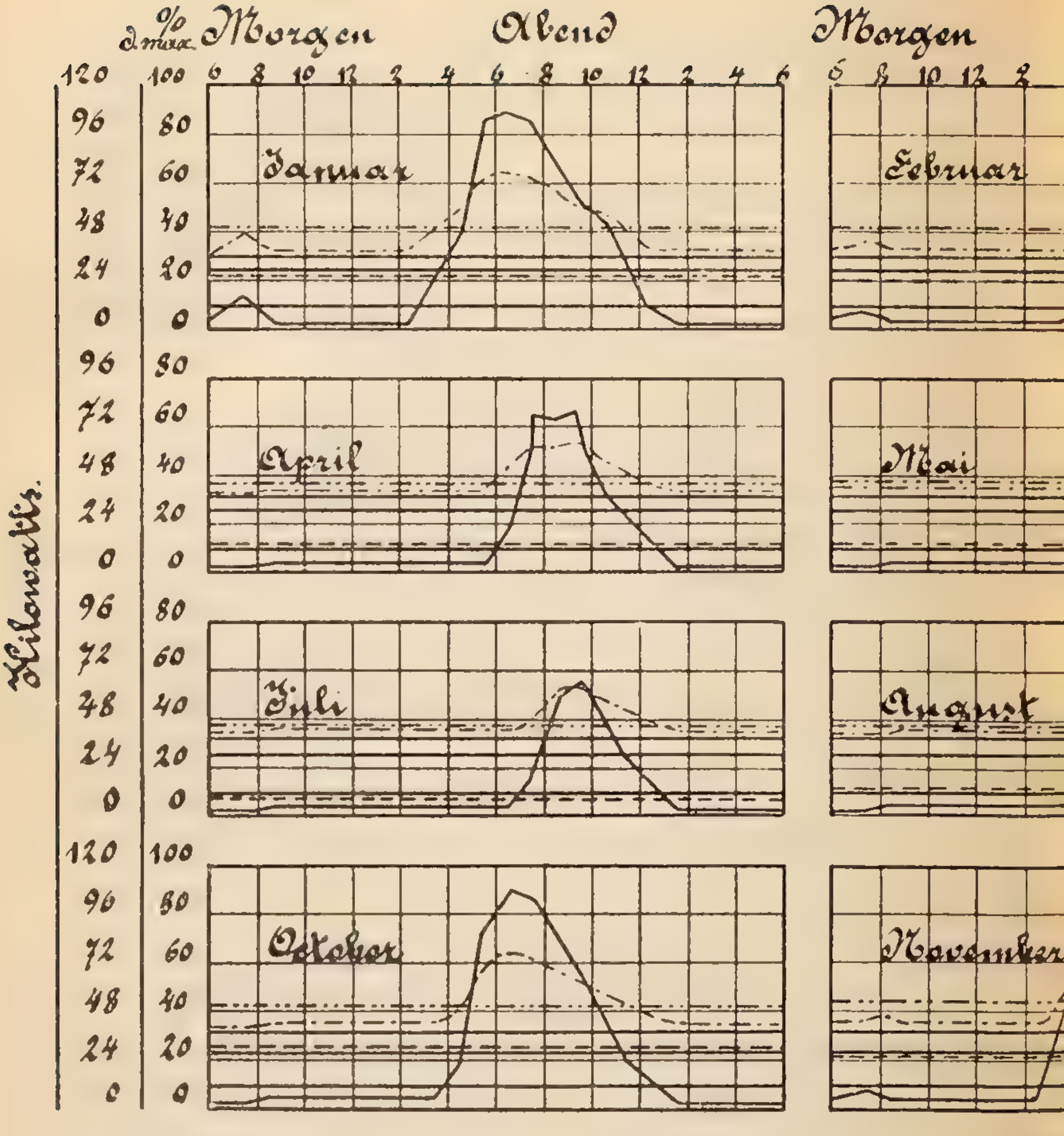
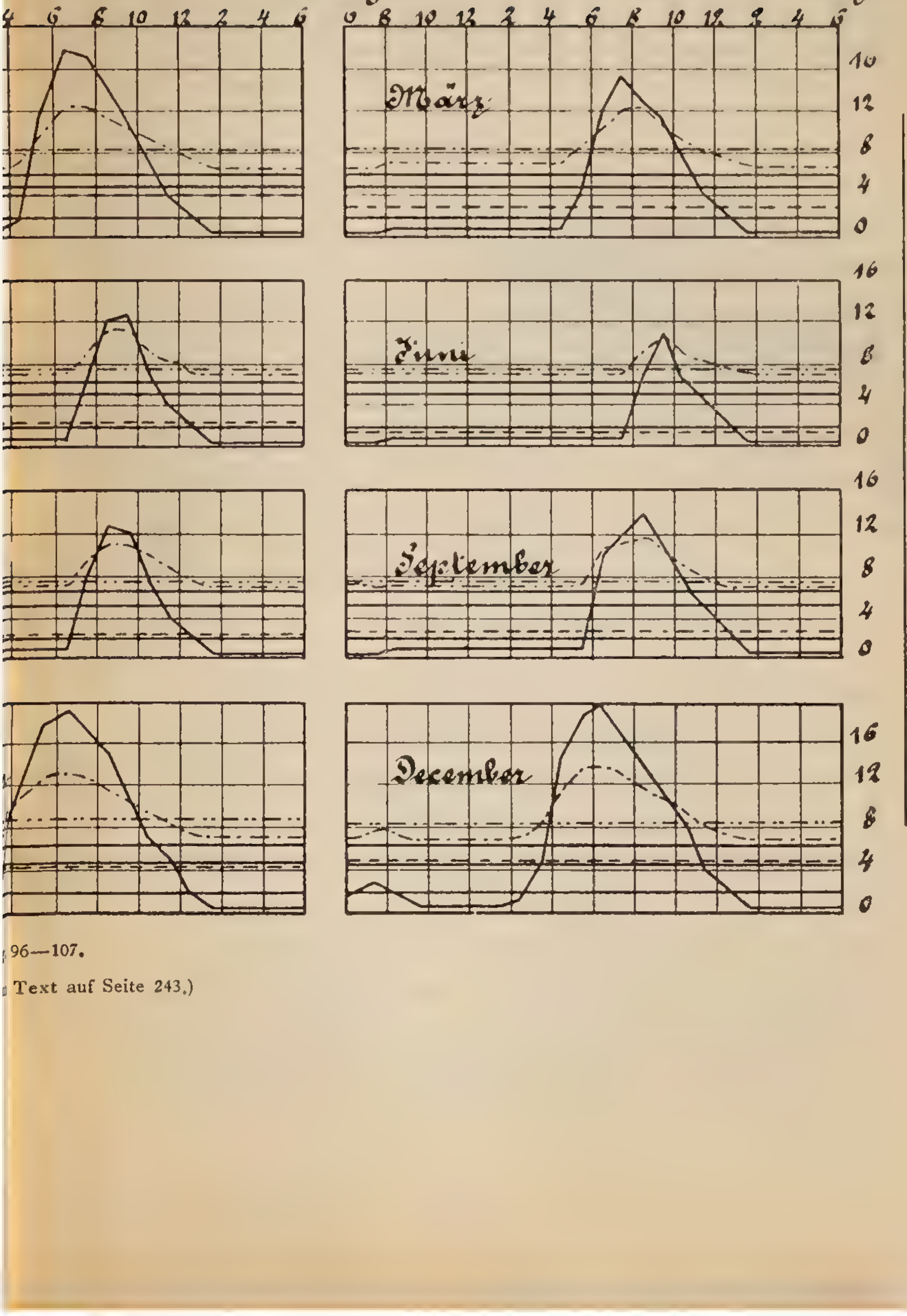


Fig.

(Gehören zu dem



96—107.

Text auf Seite 243.)

einzelnen Monaten und in Summa im Jahr, erfolgt nunmehr mit Hilfe des oben beschriebenen Diagrammes und der in den zwölf Figuren 96—107 gegebenen, bereits früher erwähnten graphischen Darstellungen der Lichtschwankungen.

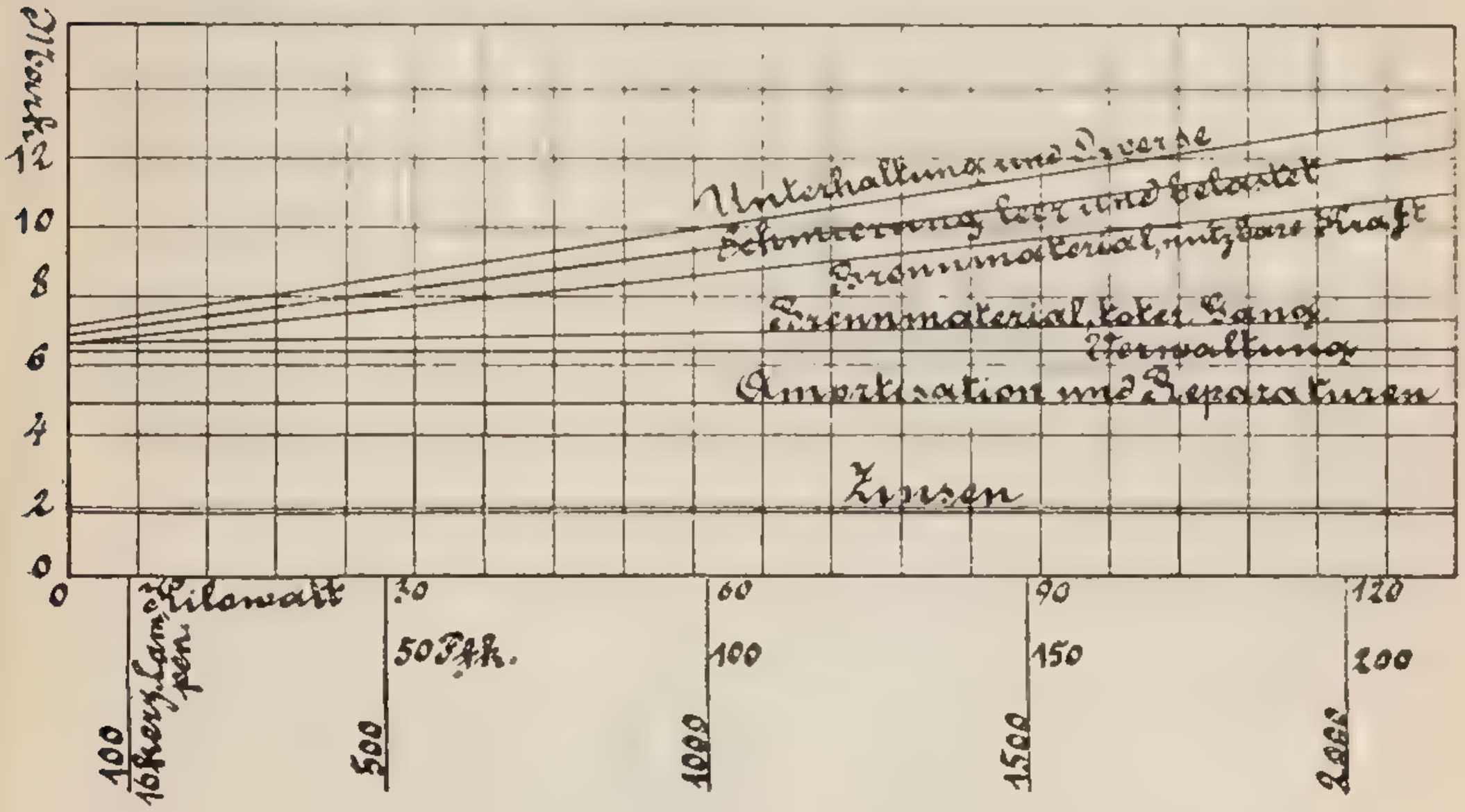


Fig. 95.

Da wir aus dem Diagramm Fig. 95 die Gesamtunkosten für die verschiedenen Voltampère, von 1 bis 120000 ansteigend, ablesen können, so sind wir in der Lage, entsprechend den Kurven für den schwankenden Tageskonsum die Kurven für den entsprechenden Kostenaufwand zu konstruieren.

In den Diagrammen Fig. 96—107 ist dies für alle zwölf Monate geschehen. Aus den Kurven der Unkosten ergeben sich dann ferner die mittleren Unkosten, die für jeden Tag gleichmässig aufzuwenden sind, um dem

schwankenden Konsum zu entsprechen, und schliesslich finden wir leicht, entsprechend dem mittleren Jahreskonsum pro Stunde, einen mittleren Jahreskostenaufwand pro Stunde.

Wie die Notizen auf den einzelnen Diagrammen und die nachstehende tabellarische Zusammenstellung zeigen, sind für jeden Monat aus den graphischen Konstruktionen der Durchschnittspreis pro Voltampère und Stunde, bezw. pro Lampe (16 N.-K.) und Stunde ermittelt. (Für eine 16 Kerzenlampe sind 55 VA elektrische Energie gerechnet.) Ausserdem konnte nach den Diagrammen die Anzahl der Lampenbrennstunden in jedem einzelnen Monat und die Gesamtzahl pro Jahr ermittelt werden.

Maximum der im Kabelnetz verfügbaren Nutzleistung:

120000 Voltampère.

Monat	Prozente des Maximums	Mittlere Leistung	Mittlerer Preis pro Stunde			Brennstunden pro Monat	Bemerkungen
			Mittlerer Preis ℳ	Mittlerer Preis pro Voltamp. ₰	Mittl. Preis pro Lampe ₰		
Januar .	23	27600	8,5	0,03	1,65	171,12	
Februar .	20	24000	8,3	0,034	1,870	134,40	
März . .	15,5	18600	8,0	0,043	2,365	115,32	
April . .	12,8	15360	7,8	0,05	2,75	92,16	
Mai . .	11,5	13800	7,6	0,055	2,025	85,56	
Juni . .	8,2	9840	7,4	0,075	4,125	59,04	
Juli . .	9,5	11400	7,5	0,065	3,575	70,68	
August .	11,5	13800	7,6	0,055	3,025	85,56	
September	13,5	16200	7,9	0,048	2,640	97,20	
Oktober .	20,5	24600	8,3	0,033	1,815	152,52	
November	24	28800	8,6	0,03	1,65	172,80	
Dezember	26,5	31800	8,65	0,027	1,485	197,16	
Mittel	16,375	19650	8,0125	0,0454	2,415	1433,52	Gesamtzahl der Brennstunden pro Jahr.

Der Jahresdurchschnittspreis pro Voltampère und Stunde hat sich zu 0,0454 ₰ ergeben, oder pro Glühlampe à 16 N.-K. zu 2,415 ₰.

Somit sind alle Daten zur Verfügung, um die Jahresunkosten in Summa zu ermitteln.

Mit Berücksichtigung aller herrschenden Verhältnisse ergiebt sich (vergl. die Tabelle) der gleichmässige Aufwand für jede Stunde des Jahres zu 8,01 ℳ, mithin die gesamte Jahresausgabe:

$$8{,}01 \,.\, 24 \,.\, 365 = 70167{,}6 \text{ ℳ}$$

und es werden hierfür an Voltampèrestunden geleistet:

$$19650 \,.\, 24 \,.\, 365 = 172134000 \text{ Voltampèrestunden.}$$

Wird nun die Lampenbrennstunde mit 4 ₰ bezahlt, was einem Preise von 0,072 ₰ pro Voltampèrestunde entsprechen würde, so wird bei der obigen Leistung eine Einnahme erzielt von:

$$172134000 \,.\, 0{,}072 \text{ ₰} = 123936{,}48 \text{ ℳ.}$$

Es bleibt also ein Überschuss von

$$53768{,}88 \text{ ℳ.}$$

Dieser Überschuss entspricht, da bereits das Anlagekapital als mit 4 % verzinst berücksichtigt wurde, einer Dividende von ca. 11,5 %, so dass das Resultat als ein günstiges betrachtet werden kann; es kann noch eine erhebliche Rabattvergünstigung für die Konsumenten eintreten, ohne dass die Rentabilität der Anlage dadurch geschädigt wird.

Ungleich günstiger gestalten sich natürlich die Betriebsverhältnisse, wenn die Anlage in vollem Umfange

ausgebaut ist, also die Maschinenanlage dem Maximum an Lichtkonsum entspricht, wofür das Kabelnetz berechnet ist, und dann die Ausnutzung des ganzen Werkes eine bessere wird.

Es kann für diesen früher oder später eintretenden Fall der Verkaufspreis für die Lampenbrennstunde noch wesentlich herabgesetzt werden.

Zu berücksichtigen ist aber bei diesem Beispiel, dass auch die Kosten des Grunderwerbes, sowie die Baukosten resp. die entsprechenden Zinsen für beide Positionen mit in Rechnung zu setzen sind, wodurch die berechnete Dividende nicht unbeträchtlich vermindert wird. —

Diese Punkte finden in dem folgenden Beispiele vollständige Berücksichtigung. Es handelt sich in demselben um die Bestimmung der Anlage- und Betriebskosten einer Zentralstation für 10000 Stück 120 Volt-Lampen von 16 Kerzen Lichtstärke resp. für die entsprechende Anzahl von Bogenlampen und Elektromotoren bei 1500 m Durchmesser des Kabelnetzes. Von den Systemen verdient für diesen Fall entschieden das Dreileitersystem den Vorzug.[1])

Wir nehmen an, dass, wenn 10000 Lampen an das Leitungsnetz angeschlossen sind, im Falle der höchsten Belastung doch nur $\frac{4}{5}$ derselben gleichzeitig brennen; wir gestatten in den Hauptleitungen einen Verlust von 10% der im Maschinenhaus erzeugten elektrischen Energie und in den

[1]) Elektrot. Zeitschrift, Juli 1888.

Zweigleitungen einen Verlust von 2 %, beides für den Fall der höchsten Beanspruchung mit 80 % der angeschlossenen Ampère. Da beim Dreileitersystem der Energieverlust in den Leitungen der Belastung proportional ist, so werden, wenn wir nach dem früher Mitgeteilten die mittlere Belastung zu 10 % der angeschlossenen Ampère annehmen, die durchschnittlichen Energieverluste im Leitungsnetz nur 1,5 % betragen. Es stellen sich dann:

I. Die Anschaffungskosten:

a. Wert des verwendeten Teiles des Grundstückes	ℳ	60 000
b. Baukosten	„	100 000
c. Dampfmaschinen, Kessel, Rohrleitungen, Fundamente, für 900 effektive Maschinen-Pferdestärken [1]) . .	„	180 000
d. Stromerzeuger	„	120 000
e. Elektrische Apparate und Ausstattung des Maschinenhauses	„	50 000
f. Hauptleitungen samt Anschlüssen und Verlegung .	„	180 000
g. Verteilungs- und Ausgleichsleitungen samt Anschlüssen und Verlegung	„	120 000
h. Elektrizitätszähler und Verschiedenes	„	40 000
Summe	ℳ	850 000

[1]) 80 % von 10,000 Lampen, deren jede 53 V-A beansprucht, verbrauchen bei 12 % Verlust im Leitungsnetze $\frac{8000 \times 53}{736 \times 0.88}$ el. Pferdestärken, und wenn man für den Fall der Höchstbelastung den Wirkungsgrad el. Maschinen zu 90 % annimmt, abgerundet $\frac{8\,000 \times 53}{736 \times 0{,}88 \times 0{,}90} = 730$ effektive Maschinen-Pferdestärken.

Die Reserve an Motoren und Dynamos entspricht somit 170 Pferdestärken. Der hohe Preis, 200 ℳ für 1 eff. HP, ist gewählt, weil langsam gehende, mit den Dynamos direkt gekuppelte Dampfmaschinen (100 Umdrehungen) vorgesehen sind.

II. Die jährlichen Ausgaben.

1) Zinsen des Anlagekapitals (4 %) . . . . . ℳ 34 000

2) Abschreibungen:

3 %	der Gebäude	ℳ	3 000		
7,5 %	der Motorenanlage . . .	„	13 500		
7,5 %	der Stromerzeuger . .	„	9 000	„	37 500
6 %	der elektr. Apparate . .	„	3 000		
3 %	des Kabelnetzes . . .	„	9 000		

3) Für Ausbesserungen und Erneuerungen . . . . „ 20 000

4) Kohlenverbrauch. (Von 10 000 Lampen zu 53 Volt-Ampère, durchschnittlich 10 %, 24 × 365 Stunden brennend. Mittlerer Verlust im Leitungsnetz 1,5 %. Durchschnittlicher Wirkungsgrad der el. Maschinen 85 %. Für 1 effekt. Pferdestärke pro 1 Stunde 2,5 kg Kohle.[1]) Preis von 100 kg Kohle nebst Anfuhr und Ascheabfuhr 2 ℳ.)

$$\frac{10\,000 \times 0{,}10 \times 53 \times 24 \times 365 \times 2{,}5 \times 0{,}02}{736 \times 0{,}985 \times 0{,}85} = \text{„ } 38\,000$$

5) Schmiermaterial, Putzlappen und Ähnliches . . . „ 8 000

6) Gehälter:[2])

1	Ingenieur und Direktor . . .	ℳ	6 000	
1	Maschinenmeister	„	3 000	
6	Maschinisten	„	9 000	
2	Mechaniker	„	3 000	
6	Heizer	„	5 400	
2	Handlanger	„	2 000	ℳ 43 000
2	Kontrolleure	„	2 400	
1	Buchhalter	„	3 600	
4	Kontoristen	„	7 200	
1	Aufwärter	„	1 400	

zu übertragen ℳ 180 500

[1]) Der hohe Kohlenverbrauch schliesst das Brennmaterial für das Anheizen und den Aufwand für einen Reservekessel in sich.

[2]) Die zahlreiche Bedienungsmannschaft wird durch den Tag und Nacht ununterbrochen fortgehenden Betrieb erforderlich.

	Übertrag	ℳ 180 500
7) Miete für die Verwaltungsräume	„	3 500
8) Allgemeiner Verwaltungsaufwand und Sonstiges .	„	6 000
	Summe	ℳ 190 000

Nimmt man, wie dies allgemein üblich ist, den Preis, welchen die Konsumenten für die Brennstunde einer 16kerzigen Lampe zahlen, zu 4 Pf. an, so würde eine solche in ihrer Entwickelung abgeschlossene Zentral-Station über Betriebsausgaben, Verzinsung, Abnutzung, Erneuerung hinaus eine höchst anständige Rente abwerfen, wie dies auch überall anderwärts die Rechnung ergeben hat; es liegt kein Grund vor, zu bezweifeln, dass künftighin auch die Praxis das Ergebnis solcher Rechnungen bestätigen wird. —

In dem folgenden Beispiele handelt es sich um die Beleuchtung einer Stadt mit mehreren Vorstädten, welche die elektrische Energie möglichst vielseitig verwenden will. In Aussicht genommen sind zunächst 5000 Glühlampen, diese Zahl soll jedoch, sobald die Vororte in den Beleuchtungsbezirk hineingezogen werden, bis auf 15000 resp. 20000 Lampen erweitert werden können. Die Entfernungen zwischen den einzelnen Vorstädten und die Forderung einer vielseitigen Anwendung der elektrischen Energie weisen uns auf die Benutzung eines Systemes mit Akkumulatorenbetrieb.

Die Anlage- und Betriebskosten, sowie die Rentabilität würden sich hier folgendermassen stellen:

A. Für 5000 gleichzeitig brennende Glühlampen à 16 N.-K.

I. Anlagekosten.

Grundstück	ℳ	60000.—
Gebäude (Kosten für Bauleitung und Materialtransport inbegriffen)	„	130000.—
Kesselanlage	„	68700.—
Dampfmaschinenanlage.		
5 vertikal stehende 100 pferd. Dampfmaschinen (Kompound Receiver System ohne Kondensation) inklusive Transport, Montage und Inbetriebsetzung der Kessel- und Maschinenanlage	„	73000.—
Riemen	„	2400.—
Rohrleitungen	„	9300.—
Dynamomaschinenanlage.		
5 Nebenschluss-Dynamomaschinen, konstruiert für 62500 Voltamp., mit 500 Touren pr. Min., fertig auf den Platz montiert etc.	„	41000.—
Akkumulatorenanlage.		
4 Batterien, bestehend aus je 136 Zellen, mit 110 Amp. Entladungsstrom und 500 Amp. Std. Kapazität = zusammen 544 Zellen, auf den Platz montiert	„	65280.—
Apparatenanlage	„	19464.—
Leitungsnetz.		
a. Speiseleitungen.		
Dreileitungskabel mit Eisenarmatur	„	95187.94
b. Verteilungsleitungen.		
Dreileitungskabel mit Eisenarmatur	„	49992.19
c. Verteilungskästen	„	7440.—
Zu übertragen	ℳ	621.764.13

	Übertrag ℳ	621764.13
Ingenieurkosten und Allgemeines.		
1 leitender Ingenieur für die Dauer der Installation, ca. 3 Monate	„	1500.—
1 Ingenieur, als Gehilfe desselben	„	1000.—
1 Techniker	„	700.—
2 Bauwächter (1 Tag- und 1 Nachtwächter) . .	„	800.—
1 Materialienverwalter	„	800.—
1 Bote	„	500.—
Büreaukosten, Verschleiss an Geräten und Apparaten, Transporte, kleine Ausgaben und Unvorhergesehenes	„	3935.87
Gesamt-Anlagekosten	ℳ	631000.—

II. Rentabilitätsberechnung.

Verzinsung des Anlagekapitals	ℳ	631000.—	mit	4 %	ℳ	25240.—
Amortisation.						
Gebäudeanlage	ℳ	130000.—	mit	3 %	ℳ	3900.—
Kesselanlage	„	68700.—	„	7 „	„	4809.—
Dampfmaschinenanlage . .	„	73000.—	„	5 „	„	3650.—
Riemen	„	2400.—	„	20 „	„	480.—
Rohrleitungen	„	9300.—	„	5 „	„	465.—
Dynamomaschinenanlage . .	„	41000.—	„	6 „	„	2460.—
Akkumulatorenanlage . . .	„	65280.—	„	10 „	„	6528.—
Apparatenanlage	„	19464.—	„	6 „	„	1167.84
Leitungsnetz	„	152620.13	„	6 „	„	9157.21
	(ℳ	561764.13				
amortisiert zusammen mit	„	32617.05).				
Zu übertragen	ℳ					57857.05

Übertrag ℳ 57857.05

Verwaltungs- und Betriebspersonal.

1	Betriebsingenieur . .	pro Tag ℳ	10.—
1	Techniker	„ „ „	5.—
1	Buchhalter, zugleich Kassierer	„ „ „	6.—
1	Meister	„ „ „	6.—
2	Maschinisten . . .	„ „ „	7.—
2	Heizer	„ „ „	6.—
4	Aufseher	„ „ „	12.—
1	Monteur	„ „ „	4.—
6	Handlanger	„ „ „	15.—
1	Pförtner	„ „ „	4.—
1	Kassabote	„ „ „	4.—

zusammen ℳ 79.— × 365 = ℳ 28835.—

Kohlenverbrauch.

Angenommen sei, um sicher zu gehen, per Glühlampenbrennstunde 0,5 Kilo Kohlen.

Nimmt man nun an, dass die durchschnittliche Brenndauer der installierten Glühlampe 700 Stunden pro Jahr beträgt, so ergiebt sich ein Kohlenverbrauch von

6700 . 700 . 0,5 = 2345000 Kilo Kohlen

à ℳ 0,008 ℳ 18760.—

Öl, Talg, Putzwolle . . . . . „ 2000.—

Reparaturen.

Anlagekapital	ℳ	631000.—	
excl. Grundstück	„	60000.—	
ℳ 571000.—	à 2,5 %	„	14275.—

Gesamt-Selbstkosten ℳ 121727.05

Demgemäss ergeben sich die Selbstkosten per Glühlampenstunde, bei der angenommenen Brenndauer von 700 Stunden pro Jahr und per installierte Glühlampe:

$$\frac{121727{,}05}{6700 \,.\, 700} = 2{,}6 \text{ Pfennig.}$$

B. Für eine Vergrösserung der Anlage mit einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit von 5000 auf 15000 gleichzeitig brennende Glühlampen à 16 N.-K., entsprechend 20000 installierten Glühlampen à 16 N.-K.

I. Anlagekosten.

Anlagekosten für die Anlage entsprechend der Leistung von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen .	ℳ	631000.—
Baukosten für die Einrichtung von 3 Akkumulatorenzentralen in gemieteten Kellergewölben . . .	„	12000.—
24 Akkumulatorenbatterien mit je 136 Zellen incl. Montage	„	391680.—
Für die zu den Akkumulatoren gehörigen Apparate .	„	39168.—
Speiseleitungen nach den Stationen	„	56812.50
Leitungsnetz für 10000 gleichzeitig brennende Glühlampen	„	200000.—
Gesamt-Anlagekosten	ℳ	1330660.50.

Bei Einrichtung von drei gesonderten Zentralstationen mit einer der obigen Vergrösserung entsprechenden Leistung würden sich die Kosten auf

$$\text{ca. } 3 \,.\, 631000 = ℳ\ 1893000$$

stellen. Es ergiebt sich also gegenüber dem vorstehenden Gesamtpreise von . . . . . ℳ 1330660.50

eine Ersparnis von . . . . . ℳ 562339.50,

welche sich bei Zentralisation des Maschinenbetriebes und Anwendung von Akkumulatoren-Subzentralen gegenüber dem dezentralisierten Maschinenbetriebe ergiebt.

Bezüglich der nachstehenden Rentabilitätsberechnung sei hervorgehoben, dass die Sätze für Verzinsung des Anlagekapitals und Amortisation, das Ausmass und die Dotierung des Verwaltungs- und Betriebspersonals, den Kohlenverbrauch und die Reparaturkosten so hoch bemessen sind, dass die berechneten Selbstkosten in Wirklichkeit kaum erreicht werden dürften.

II. Rentabilitätsberechnung
für die auf eine Leistungsfähigkeit von 15000 gleichzeitig brennenden, entsprechend 20000 installierten Glühlampen vergrösserte Anlage.

Verzinsung des Anlagekapitals	ℳ	1330660.50	mit 4 %	ℳ	53226.42
Amortisation der Anlage von **5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen** zusammen . .	„	561764.13	mit zus.	„	32617.05
hierzu die					
Amortisation der Nachlieferungen:					
Baukosten von drei Akkumulatoren-Zentralen	ℳ	12000.—	mit 3 %	ℳ	360.—
24 Akkumulatorenbatterien .	„	391680.—	„ 10 „	„	39168.—
Apparate	„	39168.—	„ 6 „	„	2350.08
Speiseleitung nach den Akkumulatoren-Zentralen . . .	„	56812.50	„ 6 „	„	3408.75
Leitungsnetz für 10000 gleichzeitig brennende Glühlampen	„	200000.—	„ 6 „	„	12000.—
			Zu übertragen	ℳ	143130.30

		Übertrag	ℳ 143130.30

Verwaltungs- und Betriebspersonal.

1	Director	pro Tag ℳ	15.—
1	Betriebsingenieur . .	„ „ „	10.—
1	Elektriker	„ „ „	7.—
1	Techniker	„ „ „	6.—
1	Buchhalter zugleich Kassierer	„ „ „	7.—
1	Schreiber	„ „ „	5.—
1	Meister	„ „ „	7.—
4	Maschinisten . . .	„ „ „	14.—
4	Heizer	„ „ „	12.—
10	Aufseher	„ „ „	30.—
3	Monteure	„ „ „	12.—
12	Handlanger	„ „ „	30.—
1	Pförtner	„ „ „	4.—
2	Kassenboten . . .	„ „ „	8.—
		zusammen ℳ 167.— × 365 =	„ 60955.—

Kohlenverbrauch.

Da bei dem in Aussicht genommenen continuierlichen Betriebe für die vergrösserte Anlage ein Effektverlust durch Leerlauf der Maschinen und Leerheizen der Kessel wegfällt, so darf man mit Sicherheit einen Kohlenverbrauch von 0,35 Kilo per Glühlampenstunde rechnen.

Nimmt man wie vorher an, dass die durchschnittliche Brenndauer der installierten Glühlampe 700 Stunden pro Jahr beträgt, so ergiebt sich ein Kohlenverbrauch von:

20000 . 700 . 0,35 =	4900000 Kilo à ℳ 0,008	„	39200.—
Öl, Talg, Putzwolle		„	5000.—
		Zu übertragen	ℳ 248285.30

		Übertrag	ℳ 248285.30

Reparaturen.

Anlagekapital	ℳ 1330660.50		
excl. Grundstück	„ 60000.—		
	ℳ 1270660.50	à 2,5 %	„ 31766.51
Miete für 3 Kellergewölbe . . .	à ℳ 200.—		„ 600.—
		Gesamt-Selbstkosten	ℳ 280651.81

Demgemäss ergeben sich die Selbstkosten per Glühlampenstunde, bei der angenommenen Brenndauer von 700 Stunden pro Jahr und per installierte Glühlampe:

$$\frac{280651{,}81}{20000 \,.\, 700} = 2 \text{ Pfennig.}$$

VIII.

Beschreibung grösserer Zentralen.

Mit dem Bau elektrischer Zentralen wurde in **Amerika** begonnen. Hier war bereits im Jahre 1882 eine von der **Edison Electric Light Cie.** installierte Zentrale für Glühlichtbeleuchtung im Betriebe. Doch hatte diese Beleuchtungseinrichtung anfangs mit einer unerwarteten Schwierigkeit zu kämpfen. Als nämlich zum ersten Male zwei Dynamos gleichzeitig den Strom in die Hauptleitung senden sollten (für etwa 2000 Lampen), zeigten sich erhebliche Störungen, welche darin ihren Grund hatten, dass der von der einen Maschine erzeugte Strom nicht nach der Hauptleitung, sondern nach der zweiten Maschine zurückfloss, sobald die beiden Dynamos mit ungleicher Geschwindigkeit rotierten. Später wurde diesem Übelstande durch Zusammenkuppelung der Maschinen abgeholfen.

Die erste Zentrale **Europas** wurde in **Mailand** erbaut und anfangs des Jahres 1883 dem Betriebe übergeben. Dieselbe war für 3600 Lampen berechnet und sollte gleichsam als Versuch für die noch grössere Zentrale dienen, welche für später mit 10,000 Lampen in Aussicht genommen war. — Wie wenig man damals noch mit der Berechnung von Spannungsverlusten in grossen Leitungen vertraut war, beweist ein in jener Zeit über

diese Zentrale veröffentlichter Bericht. In demselben heisst es:

„Die Anordnung und die Dimensionen der einzelnen Leitungen wurden von Edison selbst in New-York berechnet oder eigentlich experimentell bestimmt.

„Es wird nämlich, um ein Leitungsnetz festzulegen, ein Modell des zu beleuchtenden Stadtteils im Massstabe von ca. 1:200 gefertigt und werden sodann an allen den Stellen, an welchen Lampen installiert werden sollen, Drähte angebracht, deren Widerstand demjenigen der betreffenden Anzahl Lampen incl. der Hausleitung entspricht. Hierauf werden die sogenannten Netzleitungen, welche längs der beiden Trottoirs laufen und die Häuserkarrés in geschlossenen Parallelogrammen umziehen, gespannt. Dieselben sind an mehreren Stellen unter einander verbunden, so dass sie wirklich ein förmliches Netz bilden und hierdurch gestatten, jedem Teile der Leitung von verschiedenen Seiten aus den elektrischen Strom zuzuführen, was namentlich von Vorteil ist, wenn aus irgend welchem Grunde ein Strang an einer Stelle zeitweise unterbrochen werden muss. Die Drähte, welche die Lampen darstellen sollen, werden mit der Netzleitung und diese wieder durch die Speiseleitung mit der Stromquelle verbunden.

„Die Lage dieser Anschlusspunkte, sowie die Anzahl der erforderlichen Speiseleitungen, werden experimentell bestimmt, indem man die Anschlusspunkte so lange verschiebt, bis die an den verschiedensten Stellen des

Netzes mittelst eines Galvanometers gemessenen Potential-Differenzen um höchstens 3—4% variieren. Ist das Netz auf diese Weise festgelegt, so misst man den Widerstand der Speise- und Netzleitungen, sowie den Stromverlust, welcher durch dieselben hervorgerufen wird und berechnet hieraus die Stärke, welche die Leitungen haben müssten, um nicht mehr als den gewünschten Stromverlust (in Mailand z. B. 13 %) zu verursachen. Nach diesem kleinen Modelle lässt sich unmittelbar das ganze Leitungsnetz mit allen seinen Dimensionen in den natürlichen Massstab übertragen!

„In Mailand sind 1800 m Netzleitungen von 93 qmm Querschnitt gelegt, welche mit der Zentralstation durch sechs Speiseleitungen verbunden werden. Letztere sind 1400 m lang und hat ein Teil derselben 656 qmm, ein anderer 442 qmm Querschnitt. — Gegenwärtig versorgt die Anlage 149 Bogen- und 9688 Glühlampen.

Als erste Zentrale in **Deutschland** verdient die in **Hannover** von **Uppenborn,** dem jetzigen Direktor der elektrotechnischen Versuchsstation in München, gebaute Anlage genannt zu werden.

Nach diesen Versuchen schritt die elektrische Zentralbeleuchtung in den nächsten Jahren (1884—1887) rasch vorwärts. In den meisten grösseren Städten sah man sich veranlasst, dieser für die Zukunft wichtigen Frage näher zu treten, ja einzelne Städte haben bereits eine oder mehrere Zentralen erhalten.

So besitzt die Metropole des deutschen Reiches seit mehreren Jahren vier Zentralen: in der Schadowstrasse 6/7, Friedrichstrasse 85 (beide von der früheren deutschen Edisongesellschaft eingerichtet), in der Passage (von der Firma Siemens & Halske eingerichtet) und in der Beuthstrasse (von der Berliner Elektrischen Aktiengesellschaft installiert).

In **Hamburg** besteht eine Zentrale, welche 1885 mit einer nominellen Leistungsfähigkeit für ca. 1000 Lampen von einer Kommanditgesellschaft eingerichtet wurde, bis jetzt aber nur teilweise ausgenutzt wird. Augenblicklich wird die Errichtung einer Zentralstation durch die Stadt geplant, die zunächst rür 10,000 Glühlampen eingerichtet, aber bis zu 20,000 Lampen erweiterungsfähig werden soll.

Auch in **Cöln** sind elektrische Zentralen in Aussicht genommen.

In **Breslau** unterliegt die Frage der Errichtung einer Zentralstation durch die Stadt der Beratung einer Kommission.

In **Dessau** besteht bereits seit längerer Zeit eine Zentralstation. Die Maschinen und die Installation wurden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin geliefert.

In **Salzburg** befindet sich eine Zentralstation in Ausführung.

Die Stadt **Elberfeld** hat vor kurzem eine von Siemens & Halske in Berlin erbaute Zentrale eröffnet.

In **Darmstadt** wird eine Zentrale von 3000 Lampen errichtet.

In **Wien** sind im Augenblicke mehrere Stationen in Aussicht genommen: Neubad (15,000 Gl.), Fischer; Blutgasse (15,000 Gl.), Siemens & Halske; Kontinentale Gas-Gesellschaft beim Burgtheater (14,000 Gl.) und Mariahilf (12,000 Gl.), Kremenezky.

England besitzt ebenfalls bereits eine stattliche Anzahl von Zentralen. Wir erwähnen nur die Victoria Lighting Station mit 1500 Glühlampen, die Tilbury Docks Lighting Station mit 1350 Glühlampen und 80 Bogenlampen, die Paddington Electric Lighting mit 4115 Glühlampen zu 25 Kerzen und 98 Bogenlampen zu je 3000 Kerzen.

In **Frankreich** haben sich die Zentralen nicht so schnell vermehrt.

In **Châteaulin** (Finistère) wurde im vorigen Jahre eine Zentralstation von 400 Lampen zur Beleuchtung der Strassen und öffentlichen Gebäude errichtet.

In **Fontainebleau** will eine Gesellschaft mit 300,000 Francs Kapital eine Zentrale für 1750 Lampen installieren.

Die erste **Pariser** Zentralstation, die der Compagnie française d'éclairage électrique, rue Drouet, wurde am 21. Juni 1887 eröffnet. Sie ist zunächst für einen kleinen Bezirk erbaut worden und speist 1400 Lampen in zwei getrennten Stromkreisen nach gewöhnlicher Parallelschaltung. Die Station soll baldigst erweitert

werden, so dass sie 6000 Lampen speisen kann. Augenblicklich plant man in Paris noch eine grössere Anzahl von Zentralstationen.

Die weitaus grösste Ausbreitung durch Zentralen hat die Elektrizität in **Amerika** gefunden. Wir erwähnen nur die in letzter Zeit errichteten Zentralen.

In **Boston** installierte die amerikanische Edison-Gesellschaft eine Zentrale von 10000 Lampen.

In **Philadelphia** speist die grosse Zentralstation der Brush-Company 976 Bogenlampen und eine grössere Anzahl von Glühlampen.

Die Citizens'station in **Brooklyn** versorgt 1000 Bogenlampen und eine Anzahl Glühlampen; ausserdem liefert sie Betriebskraft für Elektromotoren. — Die eine der vier Zentralstationen der Bostoner Electric light company in Ferdinandstreet enthält 26 Dynamomaschinen, nämlich 23 Brush-Bogenlicht-Maschinen, 16 zu 65 Lampen und 7 zu 30 Lampen und 3 Thomson-Houston-Maschinen zu 30 und 50 Lampen. Die Zahl der Bogenlampen beträgt im Ganzen 1360, welche fast alle in jeder Nacht im Betrieb sind. — Eine Anlage der Sun electric Company (2254 Glühlampen) ist in **Woburn,** Mass., errichtet worden. Die Zentralstation in **Nashua** N. H. enthält zwei 100pferdige Dampfmaschinen (Armington & Sims), welche 4 Thomson-Houston-Maschinen zu 50 Bogenlampen und 2 zu 300 Glühlampen antreiben. Die Station ist ohne Unterbrechung im Betriebe und liefert am Tage Elektrizität für Motoren.

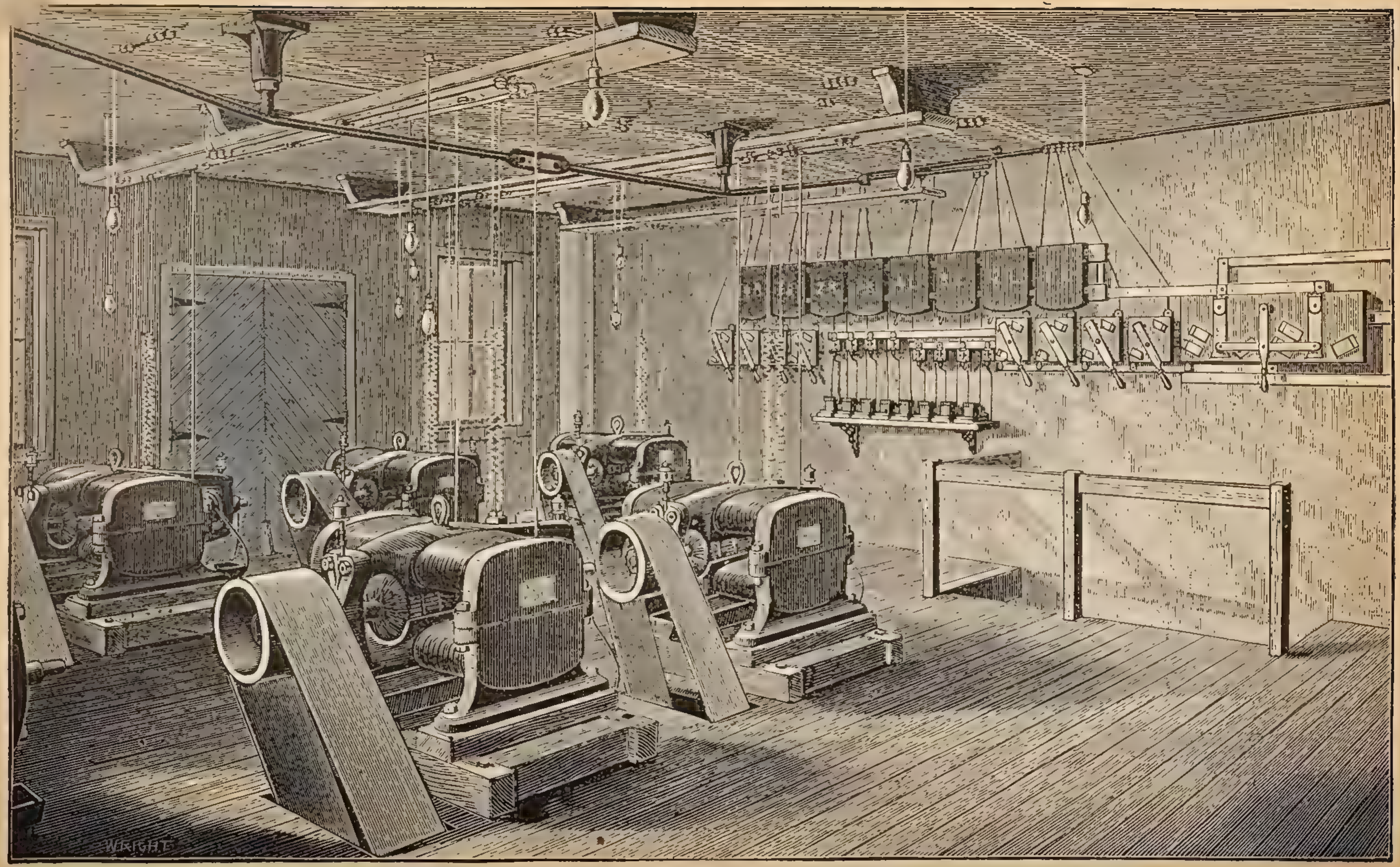


Fig. 108.

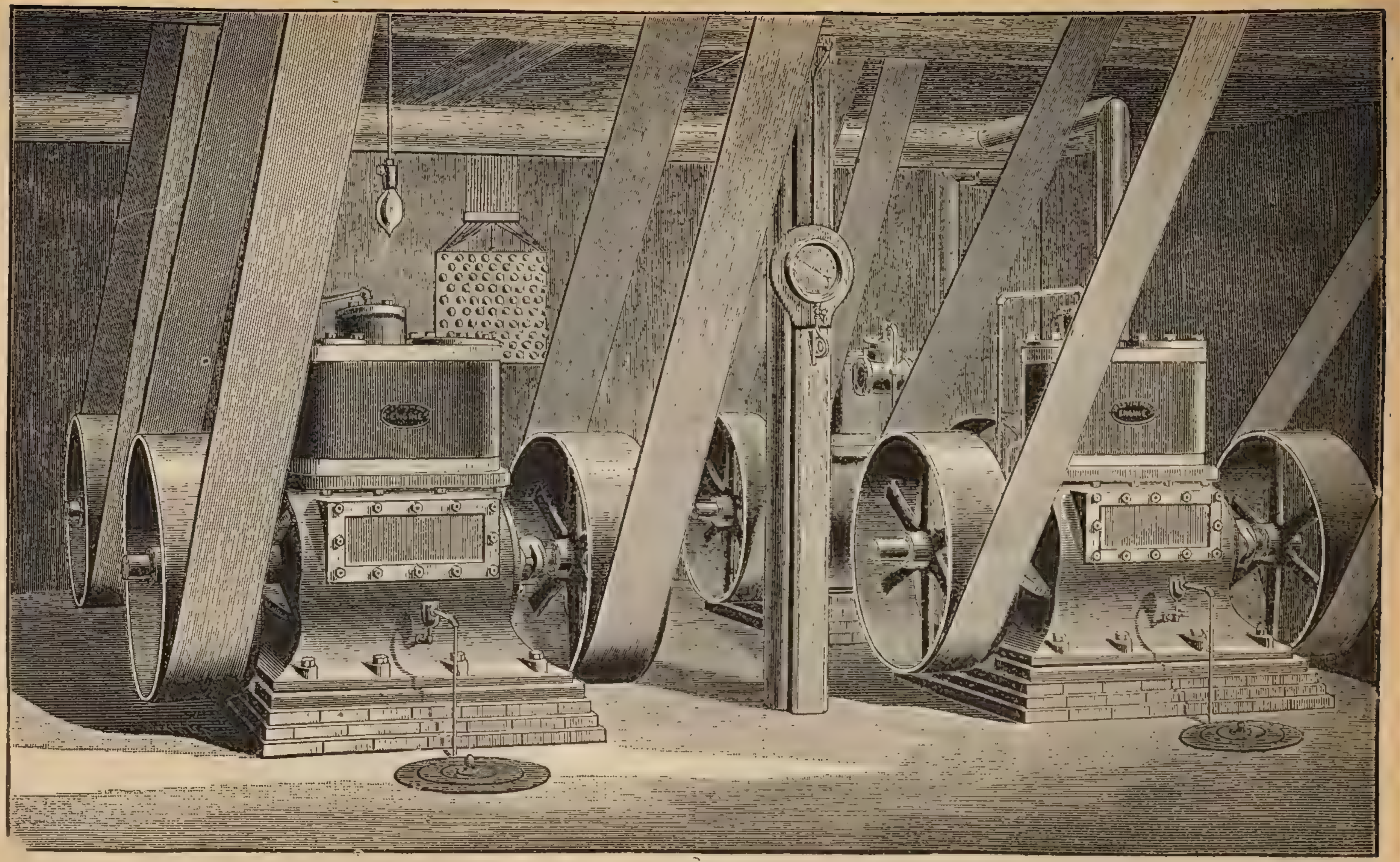


Fig. 109.

(Beide Figuren gehören zu dem Text auf Seite 265.)

Nach diesem kleinen Überblick, der durchaus keinen Anspruch auf Vollständigkeit machen soll, sei es uns gestattet, die **Einrichtungen** einiger Zentralen, deren Einzelheiten von besonderem Interesse sind, näher zu erörtern.

Wir beginnen mit der Beschreibung der Zentralstation der **Westinghouse Electric Company** zu **Trenton N. Y.** Dieselbe[1]) ist für 2400 Glühlampen berechnet und zeichnet sich sowohl durch Vorzüglichkeit der Ausführung, als auch Vollständigkeit der Ausstattung aus. Sie wurde am 1. Juli 1886 mit 500 Lampen in Betrieb gesetzt; gegenwärtig ist die Zahl derselben bereits auf 2000 gestiegen.

Die Verteilung des elektrischen Stromes erfolgt nach dem Dreileitersystem, doch kann das ganze System mit Hilfe eines einfachen Umschalters auf der Zentralstation in das Doppelleitersystem umgeschaltet werden.

Das in der Mitte eines Häuserblocks im verkehrsreichsten Teile der Stadt errichtete Maschinengebäude hat 9.15 m Länge, 7.62 m Tiefe und zwei Stockwerke, das untere derselben enthält die Motoren, das obere die gesamten elektrischen Maschinen und Apparate, in einem Anbau sind die Dampfkessel untergebracht. (Fig. 108 und 109.) Es sind drei stählerne Röhrenkessel vorhanden, deren Mäntel aus einem Blech bestehen, so dass keine Nähte im Umfange vorhanden sind. Diese mit Ashcroft's Schüttelrosten versehenen Dampfkessel liefern den Dampf für

[1]) Nach dem Zentralblatt für Elektrotechnik.

vier Westinghouse-Maschinen von je 75 HP; zur Kesselspeisung sind Vorwärmer und Dampfpumpen angebracht. Jede der Dampfmaschinen hat zwei Schwungräder, welche mittelst durch die Decken gehender Riemen die im oberen Stockwerk stehenden acht Dynamos treiben, deren jede für 300 16-Kerzenlampen berechnet ist. Die sonstigen elektrischen Apparate sind an den Wänden dieses Raumes verteilt, der durch die vorzügliche Anordnung aller Teile den besten Eindruck macht.

Die inneren Verbindungen, von den Sicherheitsschaltern bis zum Gleichgewichtsschalter bestehen aus Kupferstangen von 52 mm Breite, 13 mm Dicke, von letzterem ab sind Drähte Nr. 00 verwendet, die innerhalb der Station überall sichtbar und leicht zugänglich verlegt sind.

In dem in Fig. 110 gegebenen Schema der Leitungen und inneren Verbindungen sind nur zwei Dynamos angedeutet; die acht Dynamos sind entweder in zwei Gruppen zu je vier vereinigt, die parallel nach dem Dreileitersystem geschaltet sind, oder sie werden alle zu einer Gruppe nach dem Doppelleitersystem geschaltet. In dem obigen Schema bezeichnet D die Dynamos, D S die Ausschalter derselben, A die Strommesser, M A S den Umschalter zur Wechselung der Schaltung des ganzen Systems, B S den Gleichgewichtschalter, V die Spannungsmesser und L die Lampen. In dem Stromkreis jeder Dynamo befindet sich ein Strommesser, während die paarweise angeordneten Spannungsmesser durch besondere

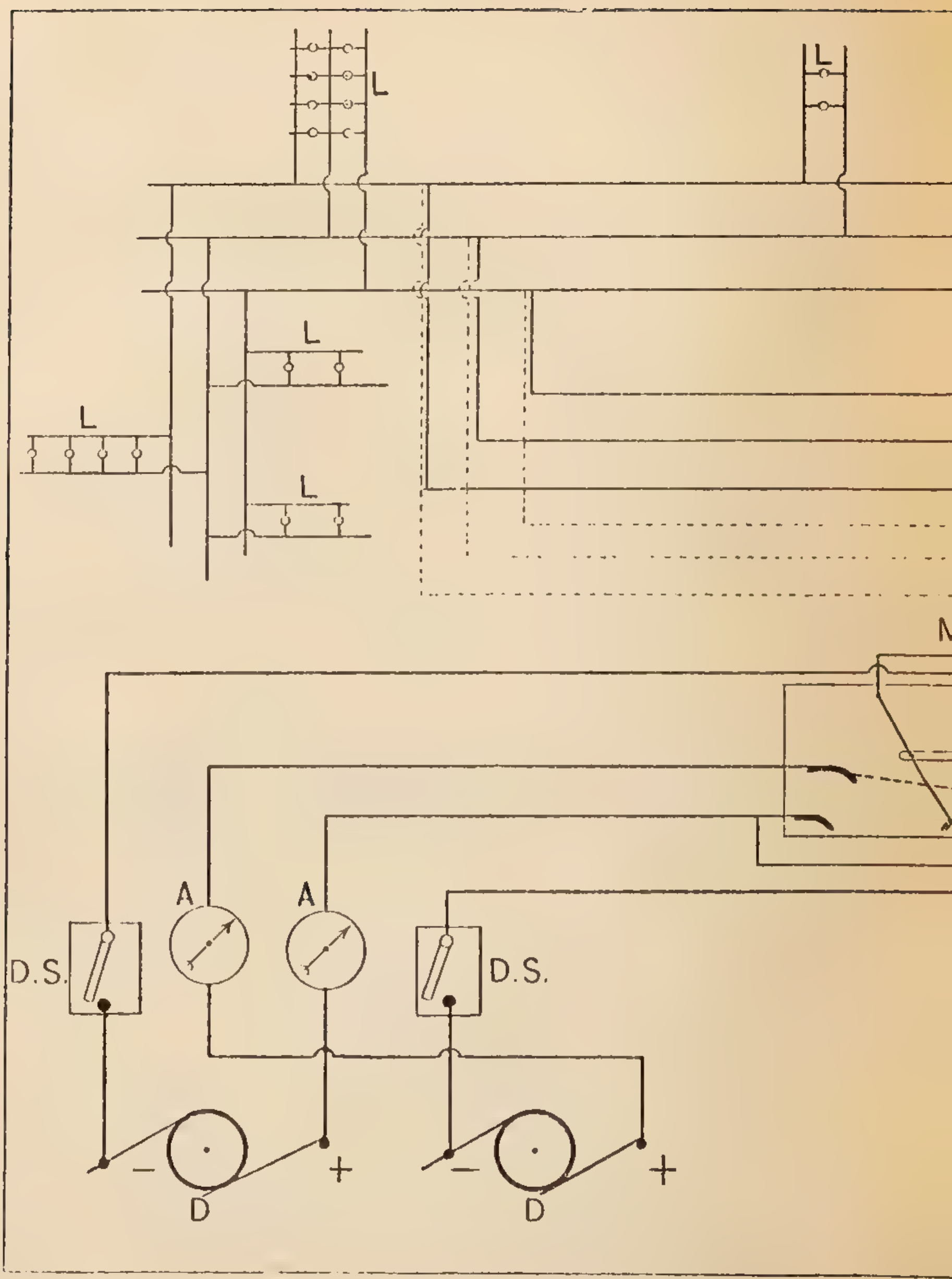
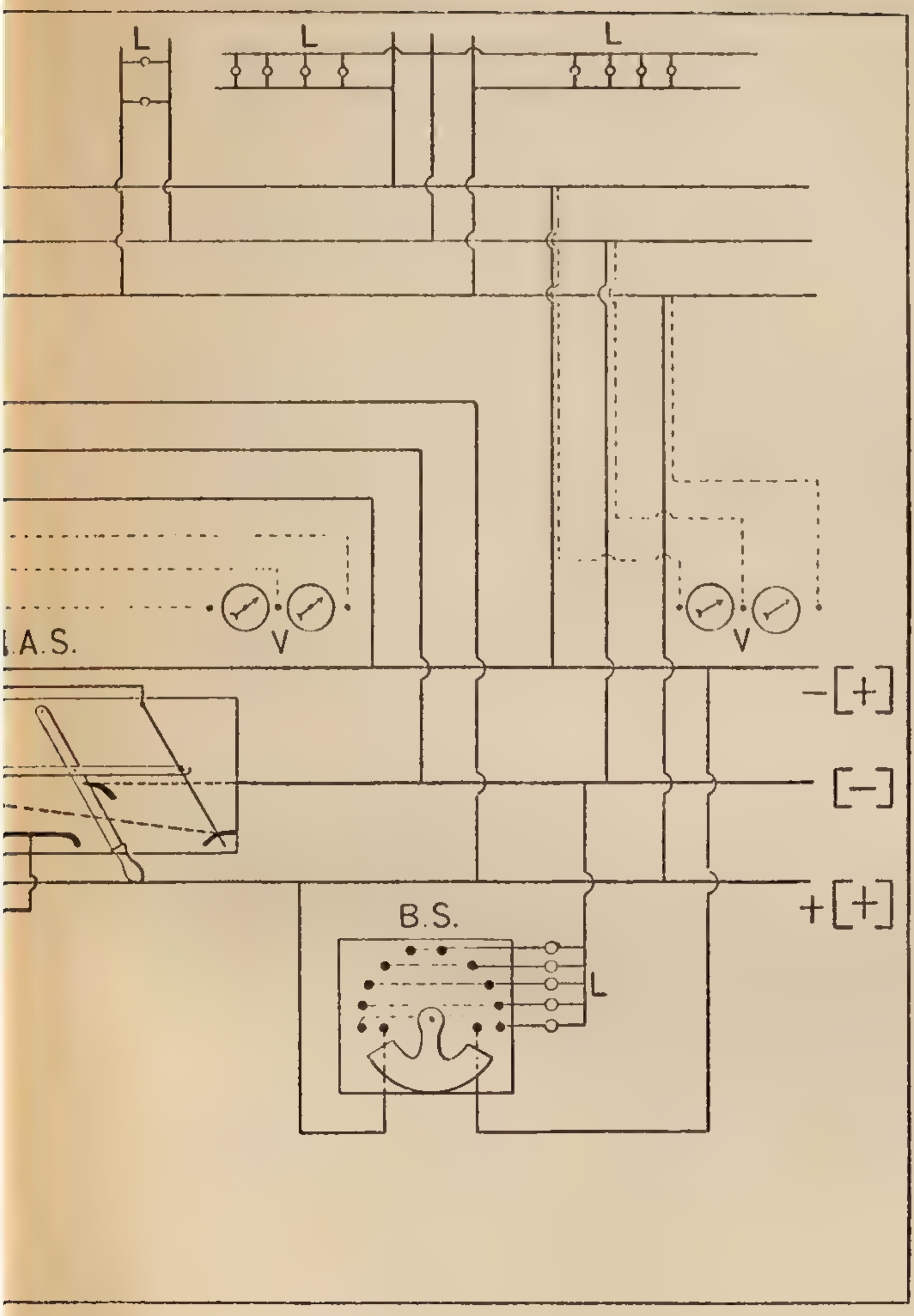


Fig. 110. (Gehört



(Siehe Seite 266.)

Drähte so mit entfernten Punkten der Hauptleitungen verbunden sind (wie dies im Schema angedeutet ist), dass sie nicht nur jede Veränderung der elektromotorischen Kraft zwischen der positiven und negativen Hauptleitung anzeigen, sondern auch jede durch Aus- oder Einschalten von Lampen hervorgerufene Spannungsdifferenz in den zu beiden Seiten des neutralen Drahtes liegenden Leitungen erkennen lassen. Jede derartige Abweichung wird sofort mit Hilfe des Gleichgewichtsschalters BS korrigiert, indem durch denselben ebenso viele besondere Lampen in der positiven oder negativen Seite aus- oder eingeschaltet werden, als erforderlich sind, um das Gleichgewicht oder die normale Spannung herzustellen. Es wird daher bei Ausführung von Installationen für die Abonnenten auch darauf Bedacht genommen, dass die Lampen zu beiden Seiten des neutralen Drahtes möglichst gleichmässig verteilt sind. In dem Schema Fig. 110 gelten die eingeklammerten Zeichen für das Doppelleitersystem, welche Schaltung immer bei leichter Arbeit, also zu denjenigen Zeiten gewählt wird, wo wenig Lampen brennen, beispielsweise nach Mitternacht. Die Umschaltung auf das eine oder andere Schaltungssystem verursacht einzig und allein ein geringes Flackern der Lampen.

Die Station wird nicht von der Westinghouse Electric Company betrieben, sondern von der People's Electric Light Company, welche gleichzeitig eine Brush-Station für 100 Bogenlampen betreibt; beide Anlagen

stehen unter Aufsicht von Charles Young, früher bei der Edison-Station zu Newburg, N. Y. Die Lichtlieferung ist ausserordentlich befriedigend, so dass die Anträge auf Einrichtung neuer Installationen bereits die Leistungsfähigkeit der Station übersteigen und man auf Erweiterung derselben bedacht sein muss.

Von nicht minder wichtigem Interesse sind auch die

Berliner Zentralen.

Die elektrische Zentralstation Mauerstrasse[1]) No. 80 wurde von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellchaft auf genanntem Grundstücke für die Aktiengesellschaft „Städtische Elektrizitätswerke“ erbaut und auf ca. 6000 gleichzeitig brennende 16kerzige Glühlampen berechnet.

Im oberen Stockwerk derselben befinden sich vorläufig drei Kessel, System Heine, welche ihren Dampf an drei Dampfmaschinen, jede von 150—175 HP. effektiv abgeben. Diese Maschinen sind von Borsig als stehende Kompound-(receiver-)Maschinen in kompaktem Rahmen mit Evakuation und Kondensation gebaut, können jedoch auch als Auspuffmaschinen benutzt werden. Die in der Mitte des Rahmens sicher gelagerte Welle trägt zwischen ihren Kurbeln eine durch Rippen in drei Teile geteilte Riemenscheibe als Schwungrad. Der Expansionsgrad kann während des Betriebes durch Hebel und Koulisse verstellt werden. Die Dampfzuströmung regelt ein Buss'scher Kosinus-Regulator. Alle zu schmierenden Flächen erhalten aus einem gemeinschaftlichen Öl-

[1]) Nach dem Zentralblatt für Elektrotechnik 1887.

behälter (Zentralschmierung) durch kleine Metallrohre Öl, deren Zufluss in Glasröhren beobachtet und durch Hähne reguliert werden kann; nur die Cylinder haben besondere Schmierapparate. Die Lager der Welle werden durch Wasser gekühlt.

Jede dieser Dampfmaschinen treibt direkt mit Riemen zwei Edison-Dynamos à 500 Glühlampen, sowie eine Transmission, von der aus vier Bogenlichtmaschinen (Siemens'sche) à 12 Bogenlampen zur Beleuchtung der Leipziger Strasse angetrieben werden. Drei Dampfpumpen liefern das nötige Speise- und Kühlwasser.

Die Dynamos sind die für die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft bei Siemens & Halske gebauten Edison-Maschinen, welche auf Schlittenfundamenten durch einen Hebel mit Stellschrauben auch während des Betriebes verschoben werden können, um den Treibriemen zu spannen. Das Schaltbrett am Kopfe der Maschine ist gegen die frühere Anordnung vereinfacht worden. Von jeder Dynamo gehen drei Kabel ab, die in Kanälen zu den in der Mitte des ganzen Raumes befindlichen Umschaltern führen. Von diesen dienen zwei Kabel für die Fortleitung des Stromes aus der Maschine, das dritte schwächere zur Einschaltung des Widerstandes im Stromregulator für die Feldmagnete.

Sehr praktisch und übersichtlich sind die Umschalter an einem eisernen Gerüst mitten im Maschinenraum eingerichtet. An diesem sind in drei Reihen 3×12 grosse Schneidenausschalter für die Dynamos, sowie 20 Aus-

schalter für die Kabel der verschiedenen Stromkreise angeordnet. Darunter, nahe über dem Fussboden, befinden sich die 12 Stromregulatoren. Dieselben bestehen aus verzinnter Eisendrahtgaze, welche über Porzellanrollen auf trapezförmigen eisernen Gestellen aufgewickelt ist. Alle 12 Hebel zur Veränderung des Widerstandes drehen sich um eine gemeinschaftliche Welle, von der sie beim Bewegen des Hebels durch einen leisen Druck am Griff losgekuppelt werden können.

Alle Dynamos entsenden ihren Strom in eine gemeinschaftliche Hauptleitung, dieselbe besteht aus 12 einzelnen Kupferlamellen von zusammen etwa 70 à 50 qmm Querschnitt. Eine dritte, allen Dynamos gemeinschaftliche, jedoch nur für 500 Lampen bemessene Hauptleitung führt zur Lampenbatterie, resp. zu einem entsprechenden Probierwiderstande. Die Lampenbatterie von 500 16kerzigen Lampen ist zur Abführung der immerhin ausgestrahlten Wärme im Luftschacht untergebracht.

Die von der Strasse ins Gebäude führenden Kabel sind an 20 senkrechten Kupferschienen geführt und dadurch mit der Hauptleitung verbunden. Jede Leitung hat eine Bleischaltung und einen Ausschalter für beide Pole. Jede Leitung, sowohl von den Dynamos als auch nach den Kabeln, trägt direkt auf der blanken Kupferschiene eine kleine Magnetnadel als Lampenzähler, welcher empirisch nach Anzahl der brennenden, resp. geleisteten Lampen geaicht ist. Hierdurch ist jederzeit eine Kontrolle über alle Leitungen, sowie über das Funktio-

nieren der Stromkreise und die gleiche Belastung aller Dynamos möglich.

Seitwärts von den in drei Reihen angeordneten 68 Hebeln resp. Umschaltern befindet sich noch ein allen Maschinen gemeinschaftlicher grösserer Hebel, der die Lampenbatterie einschaltet. Es werden immer je 25 Lampen an diversen Kontakten zugleich eingeschaltet, die Anzahl der von der Batterie eingeschalteten Lampen giebt ein Zeiger auf einem daneben befindlichen Bügel an.

Zwei daneben befindliche Umschalter gestatten die Spannung an jeder Maschine und von jedem der 10 Stromkreise schnell und sicher mit demselben Spannungsmesser zu messen. Da die Kabel bis zu gewissen Verteilungskästen in den Strassen Messdrähte enthalten, so wird gewöhnlich beim Betriebe nur die Spannung an den Lampen oder vielmehr an jenen Verteilungszentren gemessen und konstant erhalten, während man sich um die Klemmenspannung an den Dynamos gar nicht kümmert. So ist es möglich, dass man stets die für die Lampen erforderliche Spannung erhält und sich nicht über dieselbe durch Messung der Spannung an den Kabelenden im Maschinenraum täuschen lässt. Die Aufsicht hierüber ist nicht schwer, weil alle Hebel für alle Funktionen dicht beisammen gegenüber dem mit Signal versehenen Spannungsmesser liegen. Unter dem bekannten Edison'schen Signalapparat mit roter und grüner Lampe befindet sich noch ein Erdschlussanzeiger, welcher sowohl durch Läuten als auch Glühen einer Lampe einen

eingetretenen Erdschluss anzeigt. In den meisten Fällen gelingt es, durch Einsetzen eines Bleistöpsels den Erdschluss durch Ausbrennen des fehlerhaften Kontaktes unschädlich zu machen. Wo derselbe gelegen hat, erfährt man bald genug von den Abonnenten, weil durch das Ausbrennen gewöhnlich einige Lampen verlöschen. Man ist hierdurch in der Lage, eingetretene Erdschlüsse schnell und sicher zu finden und zu beheben.

Die Zentrale **Markgrafenstrasse 44** versorgt alle Strassen mit Strom, welche von der Friedrich-, Jerusalemer-, Leipziger- und Behrenstrasse umschlossen werden. Es ist die grösste Anlage z. Z. in Deutschland und hat ca. 8000 Lampen Leistungsfähigkeit. Die Verteilung des Stromes geschieht nach Edison's Prinzip durch Siemens'sche Bleikabel, die bis 800 qmm Querschnitt haben. Nach dem Schauspielhaus und Opernhaus, welche zusammen ca. 3000 Lampen haben, führen besondere Kabel direkt. Im ganzen sind 68 Hauptkabel gelegt, welche in 34 Stromkreisen den Strom nach besonderen Sammelkästen leiten. Bei voller Belastung hat man diese Kabel mit 14 Volt Spannungsverlust berechnet. Jeder derselben enthält einen isolierten Draht, um im Maschinenhause die in den Stromkreisen herrschende Spannung ermitteln zu können. Von den Sammelkästen gehen schwächere Verteilungskabel ab, von denen wieder die zu beiden Seiten der Strassen verlegten Strassenkabel aus Verteilungskästen abzweigen, diese geben den Strom erst in die Hausleitungen ab. Die Verteilungs- und Hausleitungskabel haben nur 1,5 Volt Spannungsverlust.

Was nun die Einrichtungen der Maschinenanlage selbst anbetrifft, so liegen, abweichend von den sonst bei uns üblichen Bauarten, die Kessel im ersten Stockwerk, während die Dampfmaschinen im Erdgeschoss sich befinden. Es sind sechs Dampfmaschinen von Borsig, von gleicher Bauart und Beschaffenheit wie die in der Mauerstrasse, aufgestellt, deren jede zwei Edison-Dynamos à 500 Lampen treiben.

Die auf starken eisernen Trägern und kräftigen Mauergewölben ruhende Kesselanlage besteht aus fünf Heine-Kesseln von je 175 qm Heizfläche. Das Speise- und Kondensatorwasser wird aus vier Brunnen entnommen, welche zusammen bis zu 250,000 Liter Wasser per Stunde liefern können. Alle Brunnenrohre münden in einen gemeinschaftlichen Windkessel.

Alle Dynamomaschinen sind mit ihren Lagern mit Wasserkühlung versehen, so dass ein Warmlaufen der Lager möglichst verhindert wird. Wenn hierdurch auch eine Ölersparnis insofern erzielt wird, als kein ausser-gewöhnlicher Ölverbrauch, wie beim Warmlaufen, eintreten kann, so ist doch bekanntermassen die Schmierung eines etwas warmen Lagers oft ökonomischer als eines ganz kalten. Die Dampfmaschinen sollen ganz enorm viel Schmieröl gebrauchen. Die Veränderung der Lampenzahl in der Versuchsbatterie geschieht durch einen zur Seite der Schaltungen befindlichen Hebel, welcher an einem Gradbogen anzeigt, wie viel Lampen eingeschaltet sind. Die Widerstände zur Veränderung

der Intensität des magnetischen Feldes sind abweichend von den bisher bekannten Edison'schen Regulatoren konstruiert. Sie bestehen aus einem aus verzinntem Eisendraht hergestellten Bandgewebe, welches in einem parallelepipedischen Rahmen auf Porzellanrollen gewickelt ist. Die einzelnen Kontakte der Abteilungen jedes Widerstandes sind nicht, wie bisher, im Kreise gelagert, sondern sie bilden nur einen Kreisbogen von ca. 80°. Über jedem solchen Widerstande befinden sich drei zur betreffenden Dynamo gehörige Umschalter, zwei für die beiden Pole, der dritte für die Lampenbatterie.

Jede Leitung von den Polen der Dynamos und von den Stromkreisen der Kabel ist mit dem bekannten Lampenzähler versehen, um stets beurteilen zu können, ob die Stromerzeugung auch dem Stromverbrauch entspricht, also um beurteilen zu können, wie viel Dynamos eingeschaltet sein müssen.

Zur Kontrolle der Spannung dienen vier verschiedene Spannungsmesser und zwar wird nicht auf konstante Klemmenspannung an den Dynamos, sondern auf eine solche in 24 Sammelkästen des Hauptleitungsnetzes gearbeitet, damit die Lampen stets eine möglichst gleiche Spannung erhalten. Die Klemmenspannung der Dynamos wird durch denselben Spannungsmesser, hauptsächlich nur beim Einschalten der Maschine, gemessen. Ein zweiter Spannungsmesser kontrolliert beständig die Spannung der Hauptleitung im Maschinenraum. Ein dritter Apparat ist in einem von der Zentrale möglichst entfernt liegenden Hause

aufgestellt und signalisiert die daselbst herrschende Spannung, während durch einen vierten die Spannung an 24 Punkten des Leitungsnetzes abwechselnd ermittelt werden kann. Zu den genannten Instrumenten kommt noch der bekannte Apparat zur Angabe eingetretener Erdschlüsse, die nach ihrem Erscheinen vermittelst Bleistöpsel durchgebrannt werden.

Als Erdschluss-Signalapparat verwendet man in den Berliner Zentralen drei verschiedene Konstruktionen. Die einfachste und sicherste besteht in einer Glühlampe mit Umschalter für die beiden Pole, eine andere hat zwei verschiedene Glocken, welche ertönen, sobald der eine oder der andere Pol Erdschluss hat; die dritte Konstruktion, nach Hall's Patent, verwendet ausser den Glocken noch zwei Glühlampen als optisches Signal. Ist kein Erdschluss vorhanden, so sind beide Lampen hinter einander geschaltet und glühen gleichmässig schwach, sobald jedoch irgendwo Erdschluss eintritt, geht der Strom zwischen beiden Lampen durch die Erdleitung und bringt eine der Lampen zum stärkeren Glühen. Dieser Apparat ist zwar sehr bequem, weil er automatisch Ohr und Auge vom eingetretenen Fehler benachrichtigt, er kann jedoch sehr gefährlich werden, sobald die Drahtwindungen der Dynamos selbst Erdschluss bekommen sollten. Es geht dann natürlich dauernd Strom durch die fehlerhafte Stelle, der so stark werden kann, dass er die Maschinen beschädigt. Man kann diesen Apparat also nur dann verwenden, wenn die Dynamos auf ihren

Fundamenten vorzüglich isoliert sind und die Armaturen bei dauerndem Betriebe nicht sehr warm werden, resp. hohen Isolationswiderstand behalten. Die Umschalter und die Hauptleitungsschienen sind in zwei Gruppen geteilt, welche zusammen oder getrennt benutzt werden können. Die übrigen Einrichtungen sind dieselben, wie in der schon beschriebenen Zentrale Mauerstrasse.

Die elektrische Beleuchtungszentrale in Lübeck wurde von **S. Schuckert, Nürnberg**, ausgeführt.

Der Umfang der Anlage war auf 3000 Glühlampen à 10 Normalkerzen und 100 Bogenlampen à 400 Normalkerzen oder deren Äquivalent als vorläufiger Bedarf festgestellt, jedoch wurde bei der Projektierung und Disposition des maschinellen Teils von vornherein auf eine angemessene Reserve, sowie auf eine in nächster Zukunft zu erwartende Ausdehnung des Betriebes auf das $1^1/_2$fache Rücksicht genommen, ebenso sind die Leitungsquerschnitte der unterirdischen Kabel so bemessen worden, dass sie das $1^1/_2$fache der aus obigen Zahlen sich ergebenden Stromstärke fortzuleiten im Stande sind.

Das Maschinenhaus nebst dem Schornstein ist auf dem Grundstücke Mengstrasse No. 26 aufgeführt. Durch den Hausflur gelangt man in einen Hofraum, von dort geht man durch einen kleinen Vorbau einige Stufen abwärts in das eigentliche Maschinenhaus, an welches sich das Kesselhaus anschliesst.

Dem Eingange zunächst befindet sich eine eincylindrige liegende Ventildampfmaschine von etwa 50 Pferdekraft, mit einem Seilschwungrad von 3 Meter

Durchmesser. Dahinter sind vier Dynamo - Maschinen nach dem bekannten Schuckert'schen Flachringsystem aufgestellt. Jede Dynamo - Maschine liefert bei normaler Beanspruchung Strom für 1100 10kerzige Glühlampen oder deren Äquivalent. Für zwei weitere Dynamomaschinen von derselben Leistungsfähigkeit, welche erst mit dem Eintritt der in Aussicht genommenen Erweiterung Aufstellung finden sollen, sind vorderhand nur die Fundamente hergestellt.

An die Dynamo - Maschinen schliessen sich zwei grosse Receiver - Kompound - Dampfmaschinen an, welche eine normale Leistungsfähigkeit von je 120 Pferdekraft besitzen und mit einem Seilschwungrad von $3^3/_4$ Meter Durchmesser versehen sind. Sämtliche Dampfmaschinen arbeiten mit Ventilsteuerung und Condensation. Die eine Längsseite des Maschinenhauses wird eingenommen von der gemeinschaftlichen Transmission, welche, von den genannten Dampfmaschinen durch Hanfseile angetrieben, ihrerseits wieder die Dynamo - Maschinen durch Lederriemen betreibt. Die Transmission ist mit Friktions-Ausrückvorrichtungen ausgerüstet, mit Hilfe deren jede Dampfmaschine und jede Dynamo-Maschine nach Belieben und während des Betriebes aus- und eingerückt werden kann. An das Maschinenhaus und von diesem durch eine Wand getrennt stösst das Kesselhaus, in welchem sich drei Wasserrohrkessel nach dem Patent Heine, von der Borsig'schen Maschinenbau - Anstalt hergestellt, befinden. Jeder Kessel hat eine wasserberührte Heizfläche

von etwa 70 qm. Die rauchverzehrende Feuerungsanlage dieser Kessel steht durch einen gemeinschaftlichen Fuchs mit dem 40 Meter hohen Schornstein in Verbindung. An der zweiten Längsseite des Maschinenhauses in der Höhe der Dynamo-Maschinen sind die überaus interessanten Apparate aufgestellt, welche mit den Kontroll- und Reguliervorrichtungen für die Stromerzeugung sowohl, wie für die Stromabgabe versehen sind; die beigefügte Tafel (Fig. 111) giebt ein anschauliches schematisches Bild derselben; von den Dynamo-Maschinen führen Kabelleitungen, welche in Kanälen unter dem Fussboden gebettet sind, nach den Ausschaltern und von diesen weiter nach zwei starken gemeinschaftlichen Kupferschienen, welche den gesamten, von den Dynamo-Maschinen erzeugten Strom aufnehmen. Mit Hilfe der Ausschalter kann jede Dynamo-Maschine auch während des Betriebes ein- und ausgeschaltet werden, ohne dass dadurch die Stromentwicklung der anderen Maschinen in irgend einer Weise beeinflusst wird. Die jeweilige Belastung einer jeden Dynamo-Maschine wird durch die Strommesser fortdauernd angezeigt, während zur Kontrolle des Drucks oder der Spannung sogenannte Spannungsmesser aufgestellt sind. Der Druck wird in sehr einfacher Weise trotz etwa eintretender Ungleichmässigkeiten im Gange der Maschinen genau auf dem normalen Werte durch einen Rheostaten erhalten, welcher in die Nebenschlusswicklung der Dynamo-Maschinen eingeschaltet ist. Mit demselben

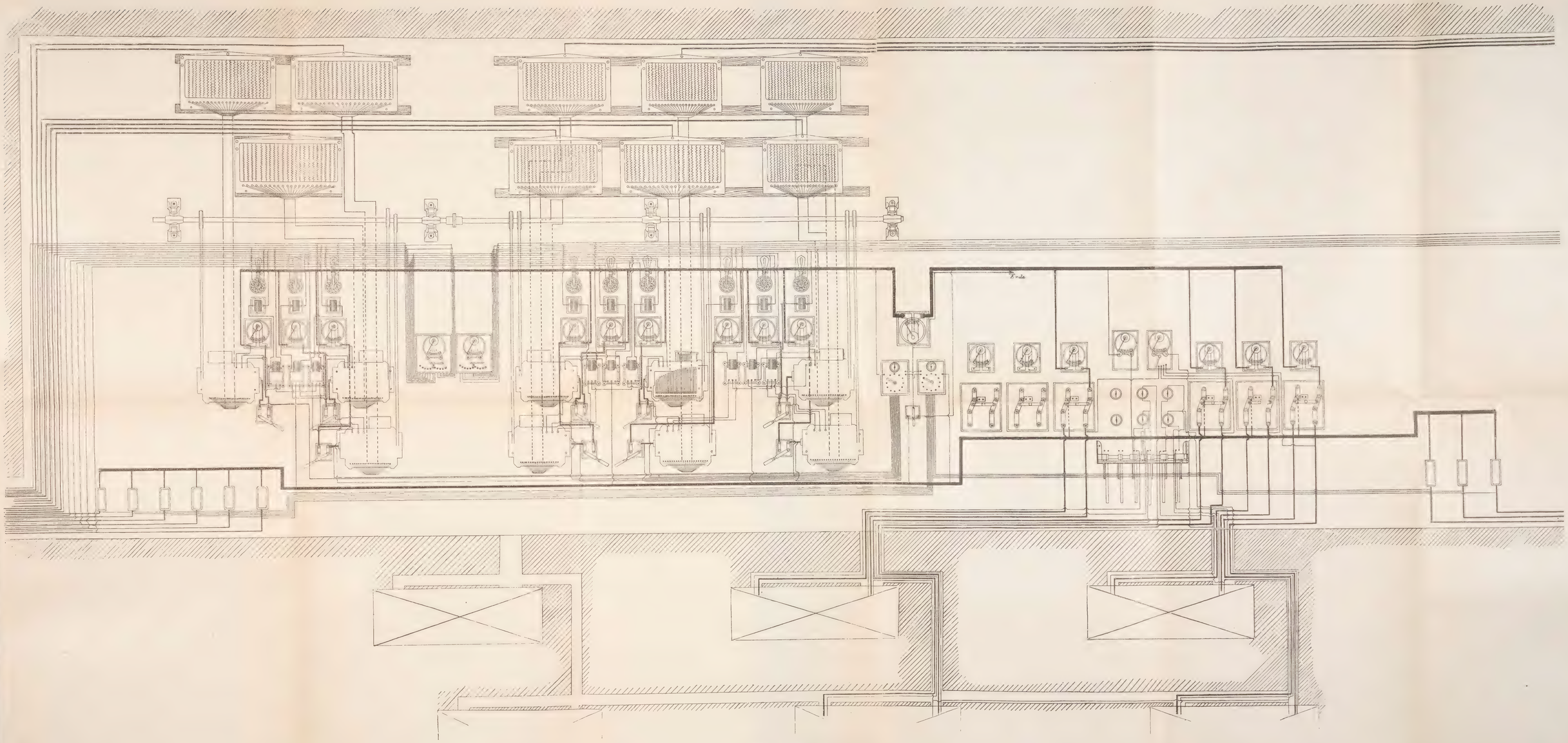


Fig. 111. (Gehört zu dem Text auf Seite 278.)

Rheostaten kann die Belastung während des Betriebes ohne jede Störung beliebig variiert und z. B. so eingestellt werden, dass von zwei Dynamos jede gleich stark beansprucht wird, oder die eine den ganzen Strom erzeugt, während die andere leer läuft.

Von den genannten Kupferschienen zweigen sich neun Kabelpaare ab, welche den Strom direkt nach verschiedenen Punkten des eigentlichen Verteilungsnetzes führen. Jedes Kabelpaar ist mit einem Strommesser ausgerüstet, welcher die jeweilige Belastung anzeigt und ausserdem mit einem Regulator versehen, welcher automatisch den Druck an den Endpunkten, dort, wo diese Kabel den Strom an das Verteilungsnetz abgeben, also in unmittelbarer Nähe der Konsumenten, reguliert und auf dem normalen Werte erhält. Dadurch wird der doppelte Zweck erreicht, dass einerseits die Lampen den erforderlichen Strom erhalten, um die gewünschte Lichtmenge abzugeben, andrerseits aber auch vor zu starkem Strom und dadurch bedingter schneller Abnutzung gesichert werden.

An einer Reihe von Kontrolllampen, welche gleichzeitig die Apparate beleuchten, erkennt man, wie die Lampen an den verschiedenen Konsumstellen brennen. Mit Hilfe von zwei Spannungsmessern kann jederzeit genau kontrolliert werden, ob der erforderliche Druck vorhanden ist bezw. ob derselbe überschritten wird.

Das Kabelnetz besteht aus den genannten neun Paaren von Hauptkabeln, welche vom Maschinenhause ausgehen und den Strom nach den sogenannten Verteilungszentren

führen, sowie nach den Verteilungsleitungen, welche, von den Verteilungszentren ausgehend, den Strassenzügen folgen und den Strom an die einzelnen Konsumstellen abgeben.

Für den Anschluss der Konsumenten in der Breitenstrasse mit sämtlichen Querstrassen, der Sandstrasse, des Klingenbergs, der Holsten- und Mengstrasse, des Marktes, der Schlüsselbuden, der Beckergrube, der Pfaffen- und Königsstrasse sind im Ganzen etwa 10,000 Meter Lichtkabel verlegt worden, deren Kupferquerschnitte zwischen 40 und 240 Quadrat-Millimeter variieren.

Unser Titelbild giebt ein übersichtliches Bild dieser sorgfältig ausgeführten Zentrale.

Erwähnenswert ist auch die im Auftrage und für Rechnung der Stadt **Elberfeld** von der Firma **Siemens & Halske** neu errichtete elektrische Zentralanlage am Hofkamp. Dieselbe ist erst vor Kurzem eröffnet und ist von der Stadt von Anfang an in eigenen Betrieb und eigene Verwaltung genommen worden.

Wir folgen bei der Beschreibung derselben einem uns zugegangenen Berichte.

Durch die schmale vom Hofkamp zugängliche Einfahrt betreten wir zuerst einen freien Hofraum, von welchem aus rechts das Kesselhaus, links das Maschinenhaus erbaut ist. Im Kesselhaus finden wir eine provisorische Anlage von drei kombinierten Cornwall-Kesseln von je 123 qm Heizfläche nebst den nötigen Pumpen, Reservoirs etc., sämtlich geliefert von der Firma G. Kuhn in Stuttgart-Berg. Doch ist der Raum zur Aufstellung

von sechs solcher Kessel vorgesehen. Vom Kesselhaus führen die Dampfrohrleitungen zur Speisung der Dampfmaschinen in einen unterirdischen gemauerten Kanal, welcher den oben erwähnten freien Hofraum quer durchzieht, nach dem Maschinenhaus, in welchem zunächst drei Dampfmaschinen von je 100 bis 170 effektiven Pferdekräften aufgestellt sind. Dieselben sind aufrechtstehende Kompound-Dampfmaschinen und können mit oder ohne Kondensation arbeiten; die Tourenzahl ist 180 pro Minute bei 7 Atmosphären Anfangsspannung. Das Schwungrad, zu gleicher Zeit Riemenscheibe, befindet sich in der Mitte zwischen beiden Cylindern, und werden von jeder Dampfmaschine mittelst direkten Antriebes ohne Transmission zwei Dynamo-Maschinen betrieben. Das Maschinenhaus bietet Raum zur Aufstellung von acht Dampfmaschinen und 16 Dynamo-Maschinen. Jede Dynamo-Maschine ist gebaut für eine Leistung von 43,000 V.-A., was ca. 700 Glühlampen von 16 N.K. oberen Äquivalents entspricht. Die Gesamtordnung ist die, dass nach Aufstellung sämtlicher Maschinen ein breiter Mittelgang freigehalten ist, welchem entlang links und rechts je eine Reihe von acht Dynamo-Maschinen aufgestellt ist, welch letztere von den an den beiden Längsseiten aufgestellten Dampfmaschinen wie schon oben erwähnt, direkt angetrieben werden. Am hinteren Ende des erwähnten Mittelganges befindet sich etwa 2 Meter über dem Fussboden eine Gallerie, auf welcher sämtliche für die Bedienung der Dynamo-Maschinen und des

Kabelnetzes notwendigen Apparate, Widerstände, Ausschalter etc. an dem sogenannten Schaltbrett montiert sind.

Das zur Ausführung gebrachte System der elektrischen Stromerzeugung und Stromverteilung ist das sogenannte Dreileiter-System mit zweimal 110 Volt Spannung, und werden dabei die von den einzelnen Dynamo-Maschinen gelieferten Ströme an den sogenannten Sammelschienen am Schaltbrett vereinigt, um von hier aus durch die Hauptleitungen dem eigentlichen Verteilungsnetz zugeführt zu werden, von welch letzterem die Hausanschlüsse sich abzweigen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, mit nur einer einzigen im Gang befindlichen Dampfmaschine resp. zwei zugehörigen Dynamo-Maschinen Lampen in den verschiedensten Teilen des Kabelnetzes speisen zu können, sofern nur die Gesamtzahl der eingeschalteten Lampen nicht die Maximalleistung der betreffenden Maschine überschreitet.

Die Anzahl der zunächst verlegten Hauptleitungen beträgt 18 bei einer Gesamtlänge von ca. 9500 m, während die Verteilungsleitungen eine Gesamtlänge von ca. 7500 m haben. Die einzelnen Kabel sind so kombiniert, dass sie drei vollständig von einander isolierte Leitungen, entsprechend dem Dreileiter-System, enthalten; diese Leitungen bestehen jede aus einer Anzahl von Kupferdrähten in konzentrischer Anordnung. Die Querschnitte der einzelnen Leitungen in einem gegebenen Kabel sind unter einander gleich gross, und enthalten die

dünnsten Kabel drei Leitungen von je 25 qmm, die dicksten drei Leitungen von je 310 qmm Kupferquerschnitt. An allen Stellen, an welchen mehrere Kabel verbunden werden sollen, oder sich kreuzen, sind runde gusseiserne Kasten angeordnet, welche die Isolation der Verbindungsstelle zu besorgen haben und zu gleicher Zeit die Bleisicherungen enthalten; die letzteren sind überall da anzubringen, wo ein Kabel von grösserem Querschnitt in ein solches von geringerem Querschnitt übergeht und haben die Bestimmung, das dünnere Kabel vor zu starken Strömen und damit vor Zerstörung zu schützen, dadurch, dass die eingesetzten Bleistreifen durch die Wirkung des elektrischen Stromes abschmelzen und so die Verbindung zwischen dem stärkeren und dem schwächeren Kabel unterbrechen in dem Augenblick, wo ein zu starker Strom das dünnere Kabel passieren sollte.

Ähnliche Kasten, wie die oben erwähnten, dienen zum Anschluss der Hausinstallationen an das Kabelnetz, und werden die Dreileiter in jedes Gebäude eingeführt. Im Innern der Gebäude werden an geeigneten Stellen die für die Speisung der Lampen erforderlichen Zweileiter (hier in Form von dünnen Drähten) abgezweigt, wobei stets eine bestimmte Anzahl Lampen (im Allgemeinen bis zu 30) auf eine Abzweigung gerechnet wird, und ist dann nur dafür Sorge zu tragen, dass die einzelnen abgezweigten Gruppen auf die beiden Hälften des Dreileitersystems gleichmässig verteilt werden.

Zu den Städten, in welchen elektrische Beleuchtung gegenwärtig eingeführt wird, gehört auch **Amsterdam;** da die projektierte Anlage sich wesentlich von den bisher beschriebenen unterscheidet, so wollen wir im Folgenden das Wichtigste dieses Projektes mitteilen.

Man beabsichtigt die an der Kalverstraat und dem Vorburgwal liegenden Geschäftslokale und Druckereien durch eine Zentralstation mit elektrischem Lichte zu versehen. Der verhältnismässig geringen Entfernungen wegen ist von der Verwendung von Wechselstrom und Transformatoren Abstand genommen und ein Betrieb mit Gleichstrom angenommen worden. Die Einrichtung mit schnelllaufenden Dampfmaschinen und kleinen Dynamos mit hoher Umdrehungsgeschwindigkeit, ebenso die Anwendung von Widerstandsregulatoren zur Konstanterhaltung der Spannung, wie dies bei anderen Zentralen allgemein üblich ist, ist indessen bei Seite gelassen worden. Man hat sich vielmehr entschlossen, zwei sehr grosse und langsam laufende Dampflichtmaschinen aufzustellen, welche selbstthätig konstante Spannung halten. Eine solche Dampflichtmaschine besteht aus einer Kompound-Dampfmaschine mit Kondensation von 240 HP bei nur 100 Umdrehungen in der Minute. Auf der Achse dieser Dampfmaschine ist die Dynamo, welche mit dem Schwungrade kombiniert ist, befestigt. Die Dynamomaschine macht also auch nur 100 Umdrehungen in der Minute und speist bei normaler Belastung 2400 Glühlampen von je 16 Kerzen; dieselbe kann jedoch bei maximaler

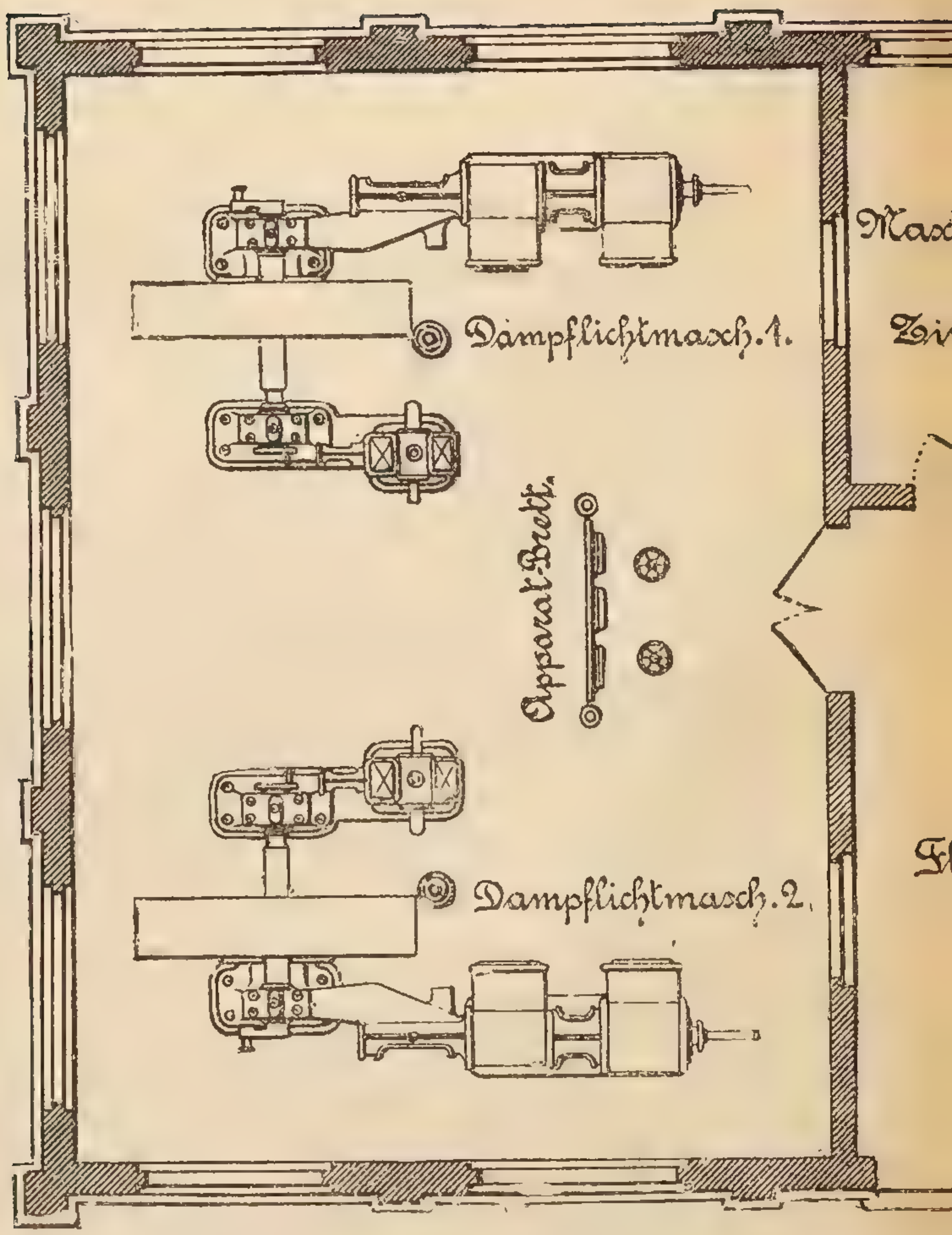
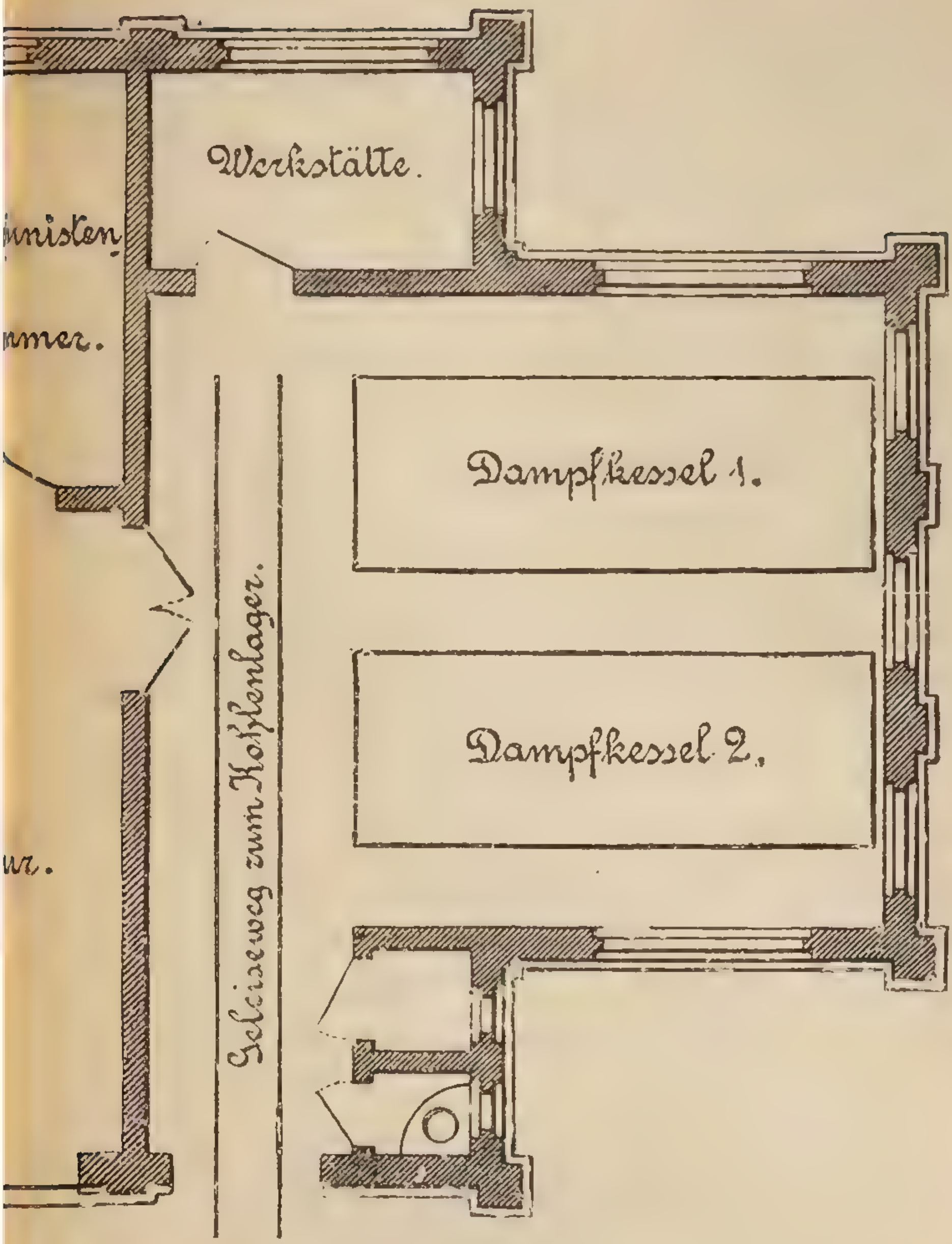


Fig. 112. (Gehört zu



m Text auf Seite 285).

Leistung 4000 Glühlampen speisen. Dem entsprechend ist auch die oben angegebene Leistung von 250 HP bei der Dampfmaschine nur für die günstigste Dampffüllung zu verstehen; durch Erhöhung der Füllung kann die Leistung auf 400 HP gesteigert werden. Der Betrieb wird nun so angeordnet, dass in der Regel beide Dampflichtmaschinen für eine Gesamtleistung von ca. 5000 Glühlampen à 16 Kerzen laufen. Beide Maschinen arbeiten dabei auf eine Leitung; das Ein- und Ausschalten jeder Maschine erfolgt durch einfache Bewegung eines Hebels. Da bei diesem Betriebe alle Zwischenglieder, wie Riemen, Vorgelege u. s. w. wegfallen, und nur die geringe Geschwindigkeit von 100 Umdrehungen vorhanden ist, so erscheint eine sonst nicht erreichte Betriebssicherheit vorhanden, zumal die Maschinen nur mässig belastet sind. Sollte indessen wider Erwarten an einer Maschine doch einmal eine Störung auftreten, so kann dieselbe ohne weiteres ausser Betrieb gesetzt werden, da jede der Maschinen bei maximaler Belastung imstande ist, den Gesamtbetrieb zu übernehmen. Die Ausführung der ganzen Anlage wurde der **Aktien-Gesellschaft „Helios“** in **Ehrenfeld-Köln** übertragen, welche bisher allein grosse, langsam laufende Gleichstrommaschinen gebaut hat. Fig. 112 giebt ein Schema dieser interessanten Anlage. Dasselbe wird nach dem vorhergehenden einer weiteren Erklärung nicht bedürfen.

Von nicht geringerer Bedeutung dürften auch einige Mitteilungen über die jüngst dem Betriebe übergebene

Zentralstation Neue Friedrichstrasse in **Berlin** sein, da dieselbe unter ausgedehntester Benutzung von Akkumulatoren nach dem System **de Khotinsky** ihren Konsumenten den elektrischen Strom liefert. Die Anlage bildet entschieden auf dem Gebiete der Zentralbeleuchtung einen gewaltigen Fortschritt, der um so mehr anerkannt werden muss, als er zum ersten male in evidenter Weise den Beweis liefert, dass trotz des Widerspruchs einer hochbedeutsamen Firma die Akkumulatoren in der Frage der Zentralen eine wichtige Rolle dereinst spielen werden. Die ganze Anlage macht von vorn herein einen angenehmen, sauberen und soliden Eindruck. Man merkt, dass hier alles bis ins kleinste Detail überlegt, ausgearbeitet und ausgeführt ist. In verhältnismässig kleinen Maschinenräumen befinden sich die Dampfmaschinen, Dynamos, Apparate etc., darunter im Keller die Akkumulatoren. In dem einen Raume sind zwei Kompoundmaschinen von Davey, Paxmann & Co., Colchester von je 35 HP unabhängig nebeneinander montiert. Dieselben laufen mit 150 Touren und arbeiten durchaus gleichmässig und ruhig. Augenblicklich ist nur eine in Betrieb. Jede treibt eine Dynamo. Die Übertragung findet durch Kettengliederriemen aus Büffelleder mit einmaliger Übersetzung statt.

Die beiden Dynamomaschinen stammen aus England; sie wurden von Mather & Platt, Manchester bezogen und liefern bei 800 Touren 150 Volt und 130 Ampère.

Die Akkumulatoren geben in zwei Batterien geschaltet bei 180 — 190 Volt ca. 1200 Ampèrestunden. Sie

finden sich im Keller auf fünf Regalen, auf jedem sechs Akkumulatoren neben und sechs übereinander angeordnet. Für das Laden werden sie in drei Batterien geteilt, von denen die erste und zweite je 59 Stück, die dritte 29 + 29 + ein Widerstand = 59 besitzen. Die Ladung selbst geschieht in 6 Stunden mit 150 Volt und 130 Ampère. Für die Entladung werden sämtliche Akkumulatoren in zwei Batterien geteilt. Darauf werden sie mit 2,1 Volt Klemmenspannung pro Akkumulator entladen. Die Anlage war auf 600 Ampèrestunden berechnet, liefert jedoch jetzt schon 670, also ca. 86 % Nutzeffekt. Falls beide Maschinen versagen sollten, können die Akkumulatoren mit 200 Ampère während drei Stunden entladen werden. Schwefelsäuregeruch ist im Keller nicht zu bemerken. Die Ventilation geschieht durch russische Röhren.

Die Schaltungsweise, die sehr geistreich erdacht und ausgeführt ist, veranschaulicht Fig. 113.

Augenblicklich sind 15 Bogenlampen à 7,5 Ampère und 180 Glühlampen in Betrieb, doch lässt es sich durch die geplante Erweiterung leicht erreichen, dass Maschinen und Akkumulatoren zusammen ca. 1200 Glühlampen fünf Stunden hindurch werden speisen können. —

Den Schluss dieses Kapitels möge die Beschreibung eines Projektes bilden, welches in **Barmen** von der bekannten Firma **Spiecker & Comp.** in **Köln** zur Ausführung kommen wird.

Wir beschränken uns natürlich hier nur auf die Wiedergabe der allgemeinen Gesichtspuukte, welche bei

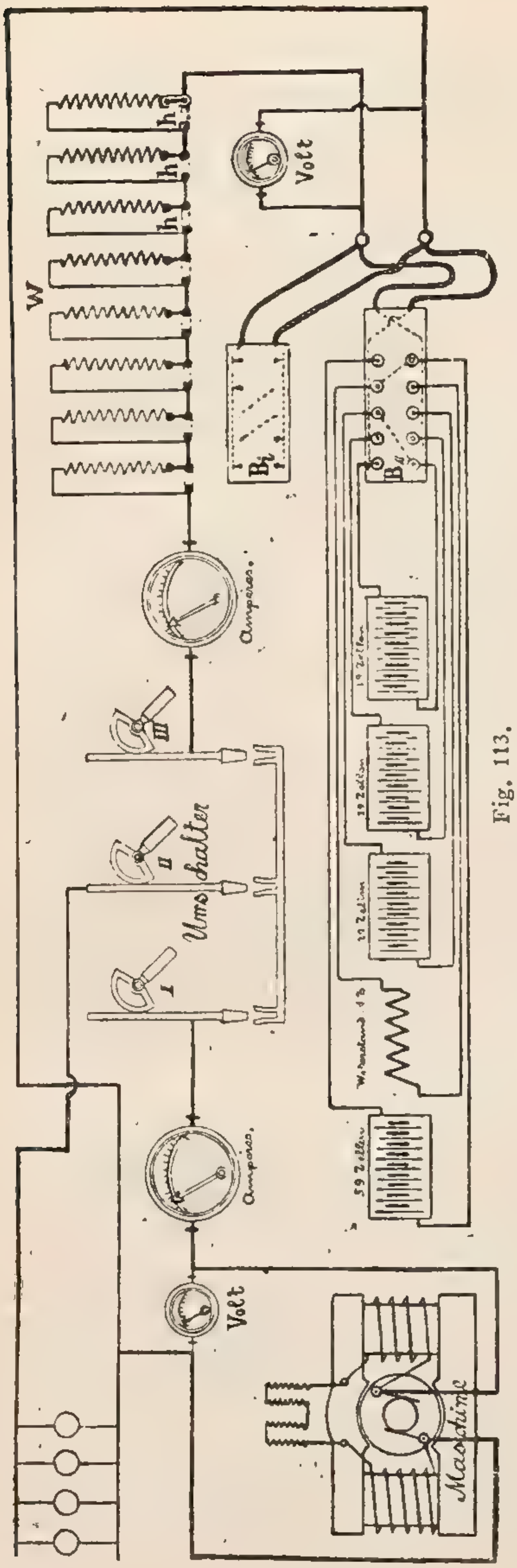


Fig. 113.

der Ausarbeitung des Projektes massgebend gewesen sind, die aber um so interessanter sein dürften, als für die Zentrale eine Stromlieferung ebenfalls mit Anwendung von Akkumulatoren — und zwar im grossen Massstabe — in Aussicht genommen worden ist. Die Verteilung der elektrischen Energie geschieht mittelst des Dreileiter-Systems.

Die Anlage selbst ist für einen vorläufigen Betrieb von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen von 16 N. K. berechnet.

Da erfahrungsgemäss die maximale Anzahl der gleichzeitig brennenden Glühlampen ca. 75 % der sämtlichen an das Leitungsnetz

angeschlossenen beträgt, so können im Ganzen ca. 6700 Glühlampen angeschlossen werden. Für den Fall, dass im Laufe der Entwicklung der elektrischen Beleuchtung eine grössere Leistung erwünscht sein sollte, ist die Maschinenstation gross genug, um einem Betrieb von 15,000 gleichzeitig brennenden oder 20,000 installierten Glühlampen à 16 N.K. zu genügen. In dieser Leistung ist der Betrieb von Bogenlampen für Privat- und öffentliche Beleuchtung inbegriffen, wobei an Stelle von 5 bezw. 10 Glühlampen eine Bogenlampe von 500 bezw. 1000 N.K. eintreten kann.

Der Betrieb der Zentrale erfordert im Wesentlichen folgende Baulichkeiten:

1) Ein Verwaltungsgebäude, enthaltend in dem Erdgeschosse einen Bureauraum, das Zimmer des Ingenieurs, einen Messraum und ein Magazin; ferner im ersten Stockwerke die Dienstwohnung des Ingenieurs. Im Kellergeschoss werden zweckmässig die Akkumulatoren untergebracht.

2) Ein Maschinenhaus für sechs Dampf- und sechs Dynamo-Maschinen und eine Apparaten-Anlage.

3) Ein Kesselhaus für sechs Dampfkessel von je 100 qm Heizfläche, nebst dem Speisewasser-Reiniger und den Speisepumpen, sowie einen Raum für Kohlen.

4) Die Kamine und Rauchkanäle für das Kesselhaus.

5) Ein Pförtnerhaus mit den Kontrolleinrichtungen für die Arbeiter.

Was die Einrichtung der Gebäulichkeiten im Einzelnen betrifft, so sei hervorgehoben, dass der neben dem Zimmer des Ingenieurs befindliche Raum zur Aufstellung von Messapparaten möglichst lange, durch Fenster und Thüröffnungen nicht unterbrochene Wände erfordert, sowie, dass der Raum für die Akkumulatoren thunlichst ganz frei überdeckt sein muss. Die Verbindung zwischen dem Messzimmer (und weiterhin dem Zimmer des Ingenieurs) und dem Maschinenhaus mit dem daran stossenden Akkumulatorenraum wird durch eine Wendeltreppe vermittelt, von welcher aus eine hölzerne Bühne zugänglich ist. Die Bühne führt an den an der hohen Wand des Maschinenhauses befestigten Mess- und Regulierapparaten vorbei und nimmt in ihrem unteren Teile die Widerstandsvorrichtungen auf.

Bei Projektierung der Maschinenanlage ist den Gesichtspunkten bezüglich Sicherheit und Bequemlichkeit des Betriebes, Einfachheit der Anordnung, ökonomischer Ausnutzung der Dampfkraft und des Personals gebührend Rechnung getragen worden.

Im Kesselhaus werden fünf Zirkulations-Röhrenkessel-„System Humboldt“ aufgestellt, mit je 100 qm Heizfläche und konzessioniert für eine Betriebsspannung von 10 Atm., ferner zwei grosse Speisepumpen und ein automatisch wirkender Apparat zum Weichmachen des Speisewassers. Zur Aufnahme des Speisewassers dient ein Reservoir von 60 cbm Inhalt.

Im Maschinenhause sind fünf vertikale Hochdruck-Kompound-Dampfmaschinen angeordnet, welche bei einem Admissionsdruck von 9 Atm., einer Totalfüllung von 12% und 120 Touren pro Minute je 100 HP. effekt. leisten. Der Kohlenverbrauch beträgt bei Verwendung reiner Ruhrkohle pro effekt. HP. 2 Kilo.

Die fünf von den Dampfmaschinen direkt durch Riemen angetriebenen Dynamos sind konstruiert als Nebenschlussmaschinen für eine Leistung von 62,500 Watt bei 500 Touren und einer Betriebskraft von 100 HP. auf der Riemenscheibe. Die Maschinen erhalten Ringarmaturen und gestatten eine funkenlose Stromentnahme bei variabler Beanspruchung. In der Kessel-, Dampf- und Dynamo-Maschinenanlage ist ein Platz für einen sechsten Apparat offen gelassen.

Die Akkumulatoren sind in vier Serien parallel geschaltet mit den Stromerzeugern und dem Leitungsnetz. Jede Serie enthält 136 Zellen und gestattet einen Entladungsstrom von je 110 Amp. bei einer Minimalspannung von 244 Volt. Diese Spannung bleibt so lange bestehen, bis die Kapazität von 500 Amp.-Stunden pro Batterie entladen ist. Der totale Entladungsstrom, gleich 440 Amp., genügt zur Speisung von 1760 gleichzeitig brennenden Glühlampen von 16 N. K., und die totale Kapazität, gleich 2000 Amp.-Stunden, entsprechend einer Leistung von 8000 Glühlampen-Brennstunden, ist ausreichend für den Tagesbetrieb.

Die Akkumulatoren werden geladen während des Beleuchtungsbetriebes von Nachmittags 3 oder 4 Uhr bis Nachts 1 oder 2 Uhr, und zwar so lange, als der Stromverbrauch im Leitungsnetze die Leistung der Maschinen nicht übersteigt. Die Entladung erfolgt bei der stärksten Abendbeleuchtung, wenn alle Maschinen arbeiten, und am Tage, wenn der Maschinenbetrieb eingestellt ist.

Die Zweckmässigkeit der Akkumulatoren in dieser Anordnung lässt sich wie folgt begründen (siehe auch Kapitel II. und VII.):

1) Das Heizmaterial, die Betriebskraft und das Betriebspersonal lassen sich möglichst ökonomisch ausnutzen.

2) Das von der Lichtanstalt beanspruchte Grundstück lässt sich auf ein Minimum beschränken.

3) Die Maschinenanlage wird verhältnismässig klein, und infolgedessen ist eine vollständige Vermeidung der Unnannehmlichkeiten durch Rauch, Geräusch und Vibrationen mit wenig Schwierigkeiten verknüpft.

4) Das für grosse Anlagen mit ausgedehntem Beleuchtungsgebiet sehr rationelle Dreileiter-System lässt sich anwenden, ohne dass die betriebstechnisch etwas unsichere Komplikation von zwei hintereinander geschalteten und von einer einzigen Dampfmaschine betriebenen Dynamos erforderlich ist.

5) Schwankungen in der Stromspannung durch unregelmässigen Gang der Maschinen, durch momentan erhöhte Stromentnahme, Störungen irgend welcher Art, wie sie beim geordnetsten Betriebe vorkommen, werden

durch die Akkumulatoren ausgeglichen, und gewähren dieselben demgemäss eine vorzügliche Momentreserve.

Die Akkumulatoren werden geliefert von der Akkumulatorenfabrik **Tudor**'schen **Systems, Büsche & Müller**, in **Hagen i. W.;** die ausführende Firma übernimmt die Garantie, dass eine Amortisation von 10% p. a. genügt, um den Verschleiss zu decken.

Die nötigen Apparate und Vorrichtungen für Regulierung, Verteilung und Messung der elektrischen Energie sind gemäss den höchsten Anforderungen an die Betriebssicherheit der Leistung einer elektrischen Lichtanstalt ausgebildet und zusammengestellt. Es ist besonders darauf Rücksicht genommen, dass eine bequeme Handhabung der Apparate und leichte Kontrolle des Betriebes bei einer geringen Inanspruchnahme der Zuverlässigkeit des Personals möglich ist.

Der systematischen Anbringung halber sind die Apparate gleich für den Betrieb mit 6 Dynamomaschinen (anstatt mit 5 Dynamos) angenommen und entsprechend veranschlagt. Dieselben sind teilweise im Maschinenraum auf einer Gallerie, teilweise im Akkumulatorenraum angeordnet. Im Messzimmer befinden sich ferner feinere Messinstrumente, welche zur genauen Kontrolle der übrigen Apparate, der Isolationswiderstände, der Lichtstärken etc. etc. dienen.

Das Leitungsnetz ist berechnet für eine Leistung von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen à 16 N. K., wobei ein Energieverbrauch von 55 Watt pro Glühlampe und ein Energieverlust von 10% zwischen Dynamo-

maschine und Glühlampe der Berechnung zu Grunde gelegt ist. Obiger Verlust von 10% verteilt sich wie folgt:

Man verliert in den Speiseleitungen	20	Volt
„ „ Verteilungsleitungen . .	2	„
„ „ Anschluss- u. Hausleitungen	2	„
im Ganzen	24	Volt.

Auf eine Erweiterung des Leitungsnetzes mit erhöhter Leistungsfähigkeit desselben wird weiter unten zurückgekommen.

Im ganzen Leitungsnetz ist konsequent das Dreileiter-System durchgeführt mit einer Normalspannung von 110 Volt bei den Glühlampen. Das Leitungsnetz besteht aus Speise- und Verteilungsleitungen. Erstere führen die elektrische Energie nach verschiedenen zweckmässig gelegenen Punkten des Beleuchtungsgebietes, wo gusseiserne, in den Strassen eingesenkte und fundierte Verteilungskasten angebracht sind. Die Verbindung dieser Punkte geschieht durch die Verteilungsleitungen, in welche Anschlusskasten, die den genannten Verteilungskasten ähnlich, eingeschaltet sind. Die Anzahl und die Lage der letzteren richtet sich nach der Disposition der Konsumstellen. Die Verteilungs- und Anschlusskasten sind nach Abheben von gusseisernen Deckeln von der Strasse her zugänglich, und werden in denselben ausser den zum Leitungsnetz gehörigen Verbindungen auch die Anschlüsse der Zuleitungen nach den Konsumstellen gemacht, wofür je nach Lage und Bedarf Kontaktstellen vorgesehen sind. Weitere Verbindungen und Anbohrungen der

Kabel des Leitungsnetzes sind thunlichst vermieden worden, weil dieselben vielfach Veranlassung zu Kurzschluss und Erdschluss geben. Sollte indess durch irgend einen unvorhergeschenen Zufall eine Speise- oder Verteilungs-Anschluss- oder Hausleitung undicht oder kurzgeschlossen werden, so schmelzen die in den betreffenden Verteilungs- oder Anschlusskasten angebrachten Bleisicherungen durch, wodurch der beschädigte Leitungsstrang vom übrigen Leitungsnetz losgetrennt wird, ohne dass die übrige Beleuchtung eine Störung erfährt.

Sämtliche Speise- und Verteilungsleitungen bestehen aus unterirdischen mit Eisenband compound armierten Kabeln mit je drei Litzen und doppeltem Bleimantel. Die ersteren enthalten ausserdem noch drei dünne Leitungsdrähte zum Messen der Spannung im Leitungsnetz, wovon einer für den telephonischen Verkehr zwischen den Verteilungskasten und der Station während der Verlegung benutzt werden kann. Die Anschlussleitungen bis in das Haus des Konsumenten und die weiter daran anzuschliessenden Hausleitungen können durch besondere dazu konzessionierte Unternehmer verlegt werden, die Einführung der Anschlussleitung in die Verteilungs- oder Anschlusskasten ist ausschliesslich Sache der Lichtanstalt.

Der Betrieb der Maschinenanlage ist durch Anwendung einer vollkommenen Betriebsreserve nach Möglichkeit gesichert, indem vier Kessel, vier Dampf- und vier Dynamomaschinen mit den Akkumulatoren zusammen für den Betrieb von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen

vollkommen ausreichen. Sollte es vorkommen, dass während des stärksten Konsums von den fünf Dampfmaschinen eine versagen sollte, so können die übrigen Maschinen-Aggregate, **die als solche unabhängig von einander sind,** den Betrieb allein weiter besorgen.

Bei Bestimmung des Nutzeffektes des Systems muss berücksichtigt werden, dass der Kessel- und Maschinenbetrieb nicht kontinuierlich und die Belastung während des Betriebes nicht konstant ist. Infolge dieser Betriebsbedingungen ist, um sicher zu gehen, pro Stunde und HP. effekt. 3,5 Kilo Kohlen angesetzt worden.

Zur Klarstellung des Nutzeffektes der Akkumulatoren kann folgende Erläuterung dienen:

Bezeichnet man

mit A die in die Akkumulatoren thatsächlich eingeführten Voltampère-Stunden,

mit Is die aus den Akkumulatoren austretenden Amp.-Stunden,

mit E die minimale Spannung des Entladungsstromes,

so ist das Verhältnis

$$\frac{Is \,.\, E}{A} = 0{,}70$$

gleich dem für die Berechnung massgebenden kommerziellen Wirkungsgrad. Da aber in unserem Falle nur ca. 30 % der Totalenergie durch die Akkumulatoren umgesetzt werden, so kann dieser Faktor den absoluten Wert des totalen Energieverlustes, wie er sich aus dem direkten Betrieb ergiebt, nur wenig ändern.

Mit Berücksichtigung der sämtlichen Verluste in den Dynamomaschinen, Akkumulatoren und Leitungen etc. kann per Stunde und HP-Effekt bei variabler Belastung eine durchschnittliche Leistung von sieben Glühlampenbrennstunden (bei Vollbelastung zehn Glühlampenstunden) gerechnet werden. Da nun gemäss obigen Angaben per Stunde und HP-Effekt ein Kohlenverbrauch von durchschnittlich 3,5 Kilo zu rechnen ist, so ergiebt sich pro Glühlampenbrennstunde ein durchschnittlicher Kohlenverbrauch von 0,5 Kilo.

Die Stromlieferung geschieht kontinuierlich. Der Maschinenkesselbetrieb im vorliegenden Falle dauert im Maximum zehn Stunden, entsprechend einer Arbeitszeit von 3 Uhr Nachmittags bis 1 Uhr Nachts.

Die Messung der konsumierten elektrischen Energie geschieht in üblicher Weise durch die in die Hausleitungen eingeschalteten Elektrizitätszähler.

Der Betrieb der Zentrale für obige Leistung von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen erfordert nachstehendes Personal:

A. Verwaltungs- und technische Leitung.

1 Betriebs-Ingenieur,
1 Techniker,
1 Buchhalter, zugleich Kassierer,
1 Meister.

B. Arbeiterpersonal.

a. für Nachtbetrieb:

2 Heizer,

2 Maschinisten,
2 Aufseher zur Kontrolle der Apparate und Akkumulatoren.

b. für Tagesbetrieb:

2 Aufseher,
3 Handlanger.

C. Allgemeines Hilfspersonal.

1 Pförtner,
1 Monteur,
1 Kassenbote.

Diese Disposition setzt voraus, dass keine Gelegenheit vorliegt, irgend welche dem obigen Personal zugedachten Beschäftigungen in geeigneter Weise in den Wirkungskreis der schon vorhandenen Beamten der kommunalen Verwaltung hineinzuziehen.

Die successive Vergrösserung der Zentrale ist nun wie folgt gedacht:

Gebäude, Leitungsnetz und Akkumulatoren-Anlage werden gleich von Anfang an entsprechend der Leistung von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen angelegt, dagegen werden nur zwei Kessel mit den zwei Speisepumpen und Reiniger, ein Schornstein, zwei Dampfmit zwei Dynamomaschinen für das erste Betriebsjahr aufgestellt.

Mit dieser Ausbildung ist man im Stande, mit vollkommener Kessel- und Maschinenreserve 2500 gleichzeitig brennende Glühlampen à 16 NK. zu speisen. Bei einer Vergrösserung der Maschinenanlage mit je

einem Kessel, einer Dampf- und einer Dynamomaschine wird die Leistungsfähigkeit der Zentrale um je 1000 Glühlampen erhöht.

Ist man bei der Leistung von 5000 gleichzeitig brennenden Glühlampen angekommen, so ergiebt sich eine weitere Erhöhung der Leistung durch Vergrösserung der stationären Akkumulatorenanlage, Aufstellung des sechsten Kessels, der sechsten Dampf- und der sechsten Dynamomaschine, Verlängerung der Betriebsdauer und durch Errichtung von besonderen Akkumulatoren-Anlagen (wofür ein Keller von 4—6000 cbm Rauminhalt in Aussicht zu nehmen ist) in den einzelnen Vorstädten.

Nimmt man nun einen 20stündigen Betrieb mit voller Belastung von fünf Kesseln, fünf Dampf- und fünf Dynamo-Maschinen in Aussicht (ein Kessel, eine Dampf- und eine Dynamomaschine zur Reserve) und berechnet man als totalen Nutzeffekt der verschiedenen von elektrischer Energie durchflossenen Aggregate das sehr niedrig angenommene Verhältnis 0,55, wobei berücksichtigt ist, dass die Akkumulatoren dann ca. $^2/_3$ der Gesamtenergie umsetzen, nimmt man ferner an, dass die maxim. Durchschnitts-Brenndauer der Glühlampe 3,6 Stunden in der Zeitperiode von 24 Stunden beträgt, so ergiebt sich als Gesamtzahl der anzuschliessenden Glühlampen

$$\frac{500 \,.\, 736 \,.\, 0{,}55 \,.\, 20}{55 \,.\, 3{,}6} = 20444$$

oder rund 20,000 Glühlampen. Diese Zahl entspricht,

gemäss dem oben von uns angegebenen Verhältnis (75%) einem Effekt von 15,000 gleichzeitig brennenden Glühlampen, dessen Wert jedoch nur von Wichtigkeit für die Berechnung des Leitungsnetzes ist. Eine Begrenzung der Leistungsfähigkeit der Anlage bezeichnet er nicht, weil bei Anwendung von Akkumulatoren der Effekt der Anlage ebenso gut 30,000 gleichzeitig brennenden Glühlampen entsprechen kann.

Obige 15,000 gleichzeitig brennende Glühlampen sind in den projektierten Bezirken so verteilt worden, dass Bezirk Gemarke eine Beleuchtung mit 6000 gleichzeitig brennenden, entsprechend 8000 installierten Glühlampen, die Bezirke Unterbarmen, Wupperfeld und Rittershausen eine Beleuchtung mit je 3000 gleichzeitig brennenden, entsprechend je 4000 installierten Glühlampen erhalten.

Bei obiger Verteilung würde sich dann die nachstehende Einteilung des Maschinenbetriebes ergeben:

Zwei Dampf- und zwei Dynamomaschinen werden für den Beleuchtungsbezirk Gemarke in Anspruch genommen, welch letztere unter sich und zu den stationären Akkumulatoren parallel geschaltet, die Beleuchtung betreiben. Für die drei übrigen Bezirke stehen drei Dampfmaschinen mit drei hintereinander geschalteten Dynamos zur Verfügung. Die einzelnen Maschinenaggregate brauchen dann zur Einführung dieser Betriebseinteilung in der Konstruktion nicht geändert zu werden, und kann

deshalb das sechste Maschinenaggregat allen übrigen zur Reserve dienen.

Um die Kosten für die Speiseleitungen nach den entfernten Beleuchtungsbezirken möglichst klein zu halten, sind dieselben in den betreffenden Stationen so geschaltet, dass sie mit einem hochgespannten Strom geladen und gleichzeitig mit der normalen Stromspannung von 244 Volt in der Station, bezw. mit 110 Volt an den Polen der Hausleitungen entladen werden können. Die Eigenschaft der Akkumulatoren, auch als Transformatoren dienen zu können, ist hier in einer möglichst vorteilhaften Weise verwertet wordeu. Die relativ hohe Spannung der Speiseenergie 800 bis 1000 Volt an der Maschinenstation ist deshalb ganz unbedenklich, weil die Pole dieses Stromkreises nur in den Stationen zum Vorschein kommen.

Die Leitungen sind berechnet entsprechend einem Verlust von 10% der zu transportierenden elektrischen Energie bei voller Belastung, und die disponible mechanische Energie von drei hundertpferdigen Dampfmaschinen ist bei einem 20stündigen Betrieb zur Lieferung der elektrischen Energie für $3{,}6 \times 12{,}000$ Glühlampenstunden vollkommen ausreichend.

Der beschriebenen Ausdehnung entsprechend ist in der Zentralstation eine Vergrösserung der Akkumulatoren-Anlage auf 10 Batterien zu je 136 Zellen erforderlich. In den einzelnen Beleuchtungsbezirken Unterbarmen, Wupperfeld und Rittershausen müssen die Akkumulatorstationen je zwei Batterien zu je 408 Zellen erhalten.

Beim Betrieb der vergrösserten Anlage wird sich der Kohlenverbrauch günstiger stellen, als im vorliegenden Falle, weil das Leerheizen der Kessel wegfällt. Die Unkosten für das Betriebspersonal werden für die dreifache Leistung der Anlage kaum auf den doppelten Betrag anwachsen, ebenso werden die Gesamtanlagekosten verhältnismässig kleine sein. Bei Berücksichtigung dieser Momente darf mit Sicherheit eine günstigere Rentabilität der vergrösserten Anlage in Aussicht genommen werden. (Vergleiche auch Kap. VII.) —

IX.

Einige Methoden zur Berechnung des Leitungsnetzes.

Als Typus aller in Parallelschaltung ausgeführten Leitungsnetze kann das in Fig. 114 skizzierte gelten. Dieselbe zeigt zwei mit den Polen der Stromquelle verbundene Hauptleitungsstränge, an welche entweder direkt (1, 2, 3), oder erst vermittelst sogenannter Abzweigungen (4 und 5), welche wieder verzweigt sein können (6), die Stromzuführungen nach den einzelnen Glühlampen angeschlossen sind.

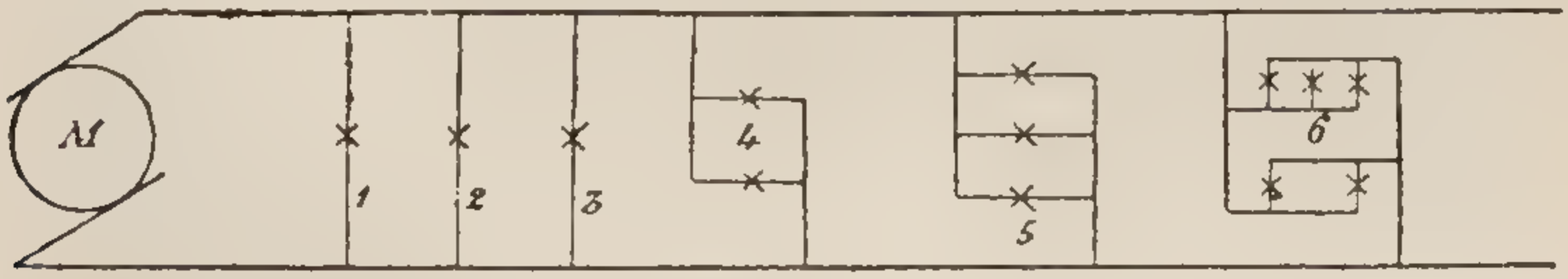


Fig. 114.

Bei der Dimensionierung von Leitungsnetzen sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen [1]): die nötige Feuersicherheit, die Rentabilität und eine notwendige gleiche Spannung an den Polen der einzelnen Lampen.

Die mit elektrischen Leitungen verbundene Feuersgefahr ist eine zweifache: Einmal kann durch Unterbrechung der Leitung an irgend einer Stelle ein Lichtbogen entstehen und dadurch eine Entzündung benachbarter Stoffe erfolgen. Um solchen Unterbrechungen vorzubeugen,

[1]) Wir folgen hier den sehr beachtenswerten Ausführungen Hohenegg's in der Zeitschrift für Elektrotechnik 1887. Heft 2.

pflegt man Drähte unter 1 qmm Querschnitt nicht anzuwenden und sich nach Verlegung der Leitung davon zu überzeugen, dass dieselbe an keiner Stelle unterbrochen ist. Andrerseits kann die den Leiter durchfliessende Stromstärke eine Erwärmung desselben verursachen und dadurch benachbarte Stoffe in Brand setzen. Man hat daher die Leitungen so stark zu wählen, dass eine übermässige Erwärmung bei den dieselben durchfliessenden maximalen Stromstärken ausgeschlossen ist, und ferner jede Leitung vor abnormalen Stromstärken durch Sicherungsvorrichtungen (Bleisicherungen) zu schützen.

Die Erwärmung eines Leiters ist um so grösser, je geringer die Leitungsfähigkeit desselben und je grösser die auf die Querschnittseinheit entfallende Stromstärke ist, hängt aber auch von der Oberfläche und dem Emissionsvermögen des Leiters sowie der Temperatur und dem Wärmeleitungsvermögen des denselben umgebenden Mediums und endlich noch von anderen Umständen ab.

Unter der Annahme, dass die beiden Leitungen untereinander sowie von der Erde sorgfältig isoliert sind, was immer der Fall sein soll, ist die einen Leitungsquerschnitt durchfliessende Stromstärke gleich der Summe des Stromverbrauches aller von demselben gespeisten Lampen. Ermittelt man durch Division die auf die Querschnittseinheit entfallende Stromstärke, so erhält man die für die Erwärmung des Leiters massgebendste Date.

Bei den vielen übrigen unvorhersehbaren Umständen, welche auf die Erwärmung von Einfluss sein können, sowie bei dem geringen Werte einer genauen Untersuchung für die Dimensionierung der Leitungen, sieht man von einer solchen gewöhnlich ab und nimmt mit einer für die Praxis ausreichenden Sicherheit bei Leitungen von gutem Kupfer (Leitungsfähigkeit gegen Quecksilber über 55), bei dünneren Drähten $3^1/_2$, bei mittleren 3, bei starken Leitungen nur $2^1/_2$, bei Kabeln oft nur 2 Ampère pro 1 qmm Kupferquerschnitt als zulässig an, wobei man natürlich jene Stromstärke der Rechnung zu Grunde zu legen hat, welche den fraglichen Querschnitt im annehmbar ungünstigsten Falle durchfliessen könnte. Der so erhaltene minimale Querschnitt, den eine elektrische Leitung mindestens erhalten muss, um nicht durch übermässige Erwärmung feuergefährlich werden zu können, werde mit der Bezeichnung „feuersicherer Querschnitt“ benannt.

Wird nach obigen Regeln ein Leitungsnetz mit „feuersicheren Querschnitten“ ausgestattet, so kann es leicht vorkommen, dass die mit denselben verbundenen Energieverluste, resp. nutzlosen Betriebskosten derart hoch ausfallen, dass eine Verstärkung der Leitungsquerschnitte behufs Verminderung der jährlichen Betriebskosten geboten erscheint.

Der Strom hat nämlich bei dem Durchfliessen eines Leiters, also z. B. des Kupferdrahtes, Energie abzugeben, die sich in Erwärmung desselben kundgiebt und als

Verlust betrachtet werden muss, da kein Nutzen aus ihr gezogen wird.

Dieser Energieverlust ist um so grösser, je grösser der Widerstand des Leiters und je stärker der denselben durchfliessende Strom ist. Er kann nach Joule durch die Gleichung $C = c\,J^2\,W\,T$ ausgedrückt werden, in welcher C die in Wärme übergegangene Energie, J die Stromstärke, W der Widerstand des Leiters, T die in Betracht gezogene Zeit der Stromzirkulation ist und c eine Konstante darstellt, die von der Wahl der Einheiten abhängig ist.

Bei gegebener Stromstärke ist somit der Energieverlust in der Leitung, während einer gewissen Zeit T nur durch Verringerung des Widerstandes der Leitung W, also durch Vergrösserung des Querschnittes derselben, d. h. durch Aufwand grösseren Anlagekapitales, zu verringern.

Es ist nun zu untersuchen, wie die Dimensionierung der Leitungen zu geschehen hat, damit die Summe der auf die Überwindung des Widerstandes derselben entfallenden jährlichen Betriebskosten, vermehrt um die Verzinsung und Amortisation der für die Leitungen aufzuwendenden Anlagekosten, d. i. die „jährlichen Stromfortleitungskosten“, ein Minimum werden.

Zu dem Ende stelle man sowohl die Betriebs- als auch die Zinsen und Amortisationskosten als Funktionen des Querschnittes Q der Leitung dar, und suche jene Grösse des Querschnittes, bei welcher die Summe beider

Funktionen, die jährlichen Stromfortleitungskosten, ein Minimum werden.

Die auf die Energieverluste jährlich entfallenden Betriebsspesen werden gefunden, indem man vorerst ermittelt, wie viele Stunden die ins Auge gefasste Zentrale bei vollem Betriebe funktionieren müsste, damit die dabei zur Überwindung der Leitungswiderstände aufzuwendende Energie in Summa ebenso gross wird, wie die bei dem wirklichen Betriebe pro Jahr resultierenden Verluste.

Nennen wir diese Zeit die „durchschnittliche volle Betriebsdauer im Jahre“ und bezeichnen sie mit T, so sind die in dieser Zeit erwachsenden Energieverluste nach Obigem $C = c J^2 W T$.

Wird dabei J in Ampère und W in Ohm ausgedrückt, so erhält man für $c = 736^{-1}.C$ in Pferdekraftstunden, so dass die Betriebskraft in Pferdekraftstunden ausgedrückt werden kann durch $HP St. = 736^{-1} . J^2 W T$. Die Kosten dieser Arbeitsleistung, die sogenannten Betriebskosten, sind $K_b = 736^{-1} . \beta J^2 W T$, wenn β die Kosten einer Pferdekraftstunde bezeichnet. Um diesen Wert K_b als Funktion von Q darzustellen, ist der Widerstand der Leitung W als solcher einzusetzen.

Der Widerstand der Leitung in Ohm ist gleich dem in SE durch 1,06 dividiert; also $W^{\Omega} = W^{SE} : 1,06$.

Berücksichtigt man jedoch die mittlere Temperatur von 15° C., so muss obiger Wert noch mit $(1 + \alpha t) = (1 + 0,004 \times 15) = 1,06$ multipliziert werden, so dass

sich die Umrechnung der SE in Ω eliminiert und der Widerstand eines Kupferleiters in Ω und bei 15° C. gleich ist dem Widerstand in SE bei 0° C., was als Rechnungsbehelf Verwendung finden kann.

Bekanntlich lässt sich der Widerstand eines Leiters in Siemens-Einheiten und bei 0° C. durch die Formel ausdrücken $W^{SE}_{0^0\,C.} = L : QK$, wobei L die ins Auge gefasste Länge des Leiters, Q den Querschnitt desselben und K die Leitungsfähigkeit des verwendeten Materiales gegen Quecksilber bezeichnet.

Es ist also $W^{\Omega}_{15^0\,C.} = W^{SE}_{0^0\,C.} = L : QK$.

Wird dieser Wert in die Gleichung für die Betriebskosten K_b eingesetzt, so erhält man auch diese als Funktion von Q, nämlich:

$$K_b = \beta \frac{J^2 T}{736} \frac{L}{Q} \frac{1}{K} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Andererseits setzen sich die Zinsen und Amortisationskosten der Leitung K_a zusammen aus dem Preise der Leitung ℙ mal dem Prozentsatze der Verzinsung und Amortisation p : 100, nämlich, $K_a = ℙ p : 100$.

Der Preis der Leitung ℙ ist gleich dem des Leiters pro Meter P mal der Länge desselben L in Metern; also $ℙ = PL$; es ist somit $K_a = LP\ p : 100$. Wird in diesem Ausdrucke P als Funktion des Querschnittes Q ausgedrückt, also $P = f(Q)$, so erscheint auch K_a als solche, nämlich $K_a = L\ (p : 100)\ f(Q)$.

Bei stärkeren Querschnitten, und um solche handelt es sich bei Rentabilitätsberechnungen gewöhnlich, ist P

innerhalb ziemlich weiter Grenzen eine lineare Funktion von Q, also $P = aQ + b$, so dass auch K_a mit Q linear ansteigt, nämlich $K_a = L\,(p : 100) \,.\, (aQ + b)$, oder

$$K_a = L\,(p : 100)\, aQ + L\,(p : 100)\, b \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

Die jährlichen Stromfortleitungskosten, d. i. die Summe der beiden Ausdrücke K_a und K_b, werden bei einem gewissen Werte von Q, den wir den „rentablen Querschnitt“ Q_r nennen wollen, ein Minimum werden. Um diesen zu finden, setzen wir den ersten Differential-Quotienten von $K_a + K_b$ nach Q gleich 0 und suchen jenen Wert von Q, der diesem Ausdrucke Genüge leistet, und für welchen der zweite Differential-Quotient grösser als Null wird. Wir erhalten, wenn wir $K_a + K_b$ differentiieren und gleich Null setzen:

$$Q_r = \sqrt{7{,}36^{-1}}\, J \sqrt{T} \sqrt{\beta : p} \sqrt{1 : a} \sqrt{1 : k} \quad . \quad . \quad (3$$

In dieser Formel bezieht sich der Ausdruck $\sqrt{\beta : p}$ lediglich auf die Betriebsverhältnisse, $\sqrt{1 : a}$ dagegen ist blos von der zu wählenden Kabelsorte abhängig. Beide sind von vornherein bestimmt.

Bezeichnet man daher ersteren mit c_b und letzteren mit c_k, so wird

$$Q_r = \frac{c_b\, c_k \sqrt{T}}{\sqrt{7{,}36}} \frac{J}{\sqrt{K}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

d. h.: Nach Festsetzung der Betriebskonstanten (c_b) und Wahl einer gewissen Kabelsorte (c_k) ist der „**rentable Querschnitt**“ für jede beliebige Leiterstelle durch die maximale Strom-

stärke resp. maximale Anzahl der gleichzeitig brennenden Lampen, und durch deren durchschnittliche volle Betriebsdauer im Jahre vollkommen bestimmt.

Dass für diesen Wert von Q die Summe $K_a + K_b$ wirklich ein Minimum wird, folgt daraus, dass der zweite Differential-Quotient derselben für alle positiven Werte von Q grösser als Null wird, indem $\frac{d^2 (K_a + K_b)}{d Q^2} = 2 \frac{\beta T J^2 L}{K . 736} \frac{1}{Q^3}$ für $Q > 0$ stets positiv werden muss.

Unter gewissen Umständen ist es wünschenswert, statt der rentablen Querschnitte die mit denselben verbundenen Spannungsverluste zu kennen; und dadurch ergiebt sich die Frage nach den „rentablen Spannungsverlusten“ δE_r. Dieselben werden für eine bestimmte Länge eines Leiters gefunden, indem man K_a und K_b als Funktionen von δE darstellt und jenen Wert von δE sucht, für welchen die Summe $K_a + K_b$ ein Minimum wird.

Ersetzt man in der Gleichung $K_b = 736^{-1} . \beta J^2 W T$, JW nach dem Ohm'schen Gesetze durch δE, so stellen sich die jährlichen Betriebskosten als lineare Funktion des Spannungsverlustes δE dar, nämlich

$$K_b = 736^{-1} . \beta J T . \delta E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5$$

Ebenso lässt sich der Amortisationswert der Anlagekosten K_a als Funktion von δE ausdrücken, indem man in dem Ausdrucke für denselben Q als Funktion von δE einführt.

Nach dem Ohm'schen Gesetze ist $\delta E = JW$. Wird hierin der Widerstand des Leiters durch die Länge und den Querschnitt ausgedrückt, so erhält man $\delta E = JL : QK$ oder $Q = JL : \delta E . K$ also den Querschnitt Q als Funktion von δE.

Diesen Ausdruck in den Wert für K_a eingesetzt, giebt

$$K_a = \frac{L^2 a p J}{K . 100} \cdot \frac{1}{\delta E} + \frac{L p b}{100} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6$$

also die Amortisationskosten als Funktion von δE.

Um nun den „rentablen Spannungsverlust“ δE_r zu finden, hat man den ersten Differentialquotienten von $(K_a + K_b)$ nach δE gleich 0 zu setzen und jenen Wert von δE zu suchen, der hierfür entspricht, und für welchen der zweite Differentialquotient grösser als Null wird. Die Rechnung ergiebt:

$$\delta E_r = \frac{L}{\sqrt{K}} \sqrt{7{,}36} \; \frac{1}{\sqrt{T} \sqrt{\frac{\beta}{p}} \sqrt{\frac{1}{a}}}$$

oder für $\sqrt{\beta : p}$ und $\sqrt{1 : a}$ die Bezeichnung c_b und c_k eingeführt

$$\delta E_r = \frac{\sqrt{7{,}36}}{c_b \, c_k \sqrt{T}} \; \frac{L}{\sqrt{K}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7$$

Für diesen sowie für jeden positiven Wert von δE wird der zweite Differentialquotient von $(K_a + K_b)$ grösser als Null und entspricht ersterer daher wirklich dem Minimum dieser Summe.

Obige Gleichung sagt: Nach Festsetzung der Betriebskonstanten c_b und Wahl einer ge-

wissen Kabelsorte (c_k) ist der **„rentable Spannungsverlust“** durch die Länge des ins Auge gefassten Leiters und durch die Dauer des vollen Betriebes im Jahre vollkommen bestimmt.

Vergleicht man die Formel für den rentablen Querschnitt (3) und jene für den rentablen Spannungsverlust (7), so erkennt man sofort, dass das erste Glied in beiden Formen reciprok auftritt, während in dem zweiten Gliede J und L einander ersetzen.

Dass δE_r eine Funktion der Leiterlänge L und Q_r eine Funktion der Stromstärke sein muss, ist einleuchtend; ebenso, dass der rentable Querschnitt im direkten, der rentable Spannungsverlust aber im indirekten Verhältnisse zur jährlichen Betriebsdauer stehen muss.

Wenn man sich daher den reciprok auftretenden Ausdruck $\sqrt{7{,}36^{-1}} \cdot c_b\, c_k \sqrt{T}$ merkt, was kaum mit Schwierigkeiten verbunden sein kann, so hat man mittelst obiger Erwägung stets beide Formeln in Bereitschaft.

Aus obigen Formeln ergiebt sich ferner, dass sich die rentablen Querschnitte bei Wahl verschiedener Kabelsorten wie die entsprechenden Kabelkonstanten verhalten, die rentablen Spannungsverluste aber im umgekehrten Verhältnisse zu denselben stehen, so dass bei rationeller Anlage beim Übergang von einer Kabelsorte auf eine andere die zu wählenden Querschnitte nicht gleich zu machen sind, sondern im Verhältnisse der Kabelkonstanten zu einander stehen müssen, wenn auch die übrigen Verhältnisse gleich geblieben sind.

Betrachtet man weiter die Formel für den rentablen Spannungsverlust δE_r, so wird es auffallend erscheinen, dass ausser den auf den Betrieb und auf das zu verwendende Leitungsmaterial bezüglichen Faktoren nur noch die Länge der ins Auge gefassten Leitung und die durchschnittliche Dauer des vollen Betriebes pro Jahr in der Formel erscheint.

Wird diese Formel auf eine Glühlichtleitung angewendet, so ergiebt sich die Folgerung, dass der rentable Spannungsverlust in der Leitung gänzlich unabhängig ist von der gewählten Spannung an den Polen der Lampen, so dass also die allgemein verbreitete Ansicht, das Leitungsmaterial sei so zu wählen, dass ein gewisser Prozentsatz der Lampenspannung in der Leitung verzehrt werde, nicht begründet ist, denn aus obiger Formel ergiebt sich, dass unter übrigens gleichen Verhältnissen der Spannungsverlust in einer Glühlichtleitung für 100 Volt eben so gross zu wählen ist, wie bei Zugrundelegung einer Lampenspannung von 50 Volt etc.

Daraus lässt sich ferner ableiten, dass der Querschnitt einer Glühlichtleitung, um rentabel zu sein, im indirekten Verhältnisse zur Polspannung der Lampen, aber nicht zum Quadrate derselben, wie gewöhnlich angenommen wird, stehen müsse. Denn um bei 50 Volt die gleiche Anzahl Lampen zu speisen, wie bei 100 Volt, hat man den doppelten Strom und daher bei gleichem Spannungsverlust nur den doppelten, aber nicht den vierfachen Querschnitt nötig.

Die Summe der mit so gewählten Querschnitten verbundenen Betriebs- und Amortisationskosten, d. h. die minimalen jährlichen Stromfortleitungskosten stehen gleichfalls im umgekehrten Verhältnisse zur ersten Potenz der Lampenspannung. Setzt man nämlich in die Gleichungen 5 und 6 für K_a und für K_o statt δE den Ausdruck für δE_r ein, so ergeben sich die rentablen Amortisations- und Betriebskosten für einen beliebigen elektrischen Leiter

$$K_a^r = \frac{L^2 J a p}{K\ 100}\ \frac{1}{\delta E_r} + \frac{L p b}{100};\quad K_b^r = \frac{\beta J \delta E_r T}{736};$$

in beide Gleichungen der Wert für δE_r eingesetzt, erhält man

$$K_a^r = \frac{L J a p}{\sqrt{K}\ 100} \cdot \frac{c_b\ c_k \sqrt{T}}{\sqrt{7{,}36}} + \frac{L p b}{100};$$

$$K_b^r = \frac{\beta J T}{736}\ \frac{\sqrt{7{,}36}}{c_b\ c_k \sqrt{T}}\ \frac{L}{\sqrt{K}};$$

ersetzt man die Koëffizienten c_b und c_k durch ihre wahren Werte und kürzt dann ab, so ergiebt sich

$$K_a^r = \frac{L J \sqrt{a \beta p T}}{100 \sqrt{7{,}36}\ \sqrt{K}} + \frac{L p b}{100} \quad . \quad . \quad . \quad (5a$$

$$K_b^r = \frac{L J \sqrt{a \beta p T}}{100 \sqrt{7{,}36}\ \sqrt{K}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6a$$

oder wie sofort auffällt: $K_a^r = K_b^r + L p b : 100$ . . (8,

d. h. die Amortisationskosten bei Annahme rentabler Querschnitte sind gleich den mit denselben verbundenen Betriebskosten vermehrt um den Ausdruck $L p b : 100$. Bei blanken Kupferleitern und wenn von der Montage ab-

gesehen wird, wird b gleich Null und demnach die rentablen Amortisationskosten gleich den rentablen Betriebskosten.

Die Summe der Amortisations- und Betriebskosten bei Annahme rentabler Querschnitte, d. h. die minimalen jährlichen Stromfortleitungskosten, sind dann

$$K_r = K_a^r + K_b^r = 2\,K_b^r + L\,p\,b : 100$$

$$K_r = \frac{L\,J\sqrt{a\beta\,p\,T}}{100\sqrt{7{,}36}\sqrt{K}} \times 2 + \frac{L\,p\,b}{100} \quad . \quad . \quad (9$$

und lassen sich also ohne vorherige Ermittlung der Leitungsquerschnitte von vornherein angeben.

Fassen wir das oben Gesagte zusammen, so ergiebt sich, dass man, um der Rentabilität Genüge zu leisten, bei Berechnung von Leitungsnetzen folgendermassen vorzugehen hat:

Man ermittelt die Betriebskonstante c_b aus β und b, sowie die durchschnittliche Dauer des vollen Betriebes pro Jahr T und rechnet hieraus, sowie nach Wahl einer gewissen Kabelsorte, d. h. nach Annahme des a und K und Ermittlung der Kabelkonstante, entweder den „rentablen Querschnitt“ als Vielfaches der maximalen Stromstärke nach Gleichung 4, oder den „rentablen Spannungsverlust“, ausgedrückt in der Länge des ins Auge gefassten Leiters nach Formel 7.

Entsprechen die rentablen Querschnitte oder die aus den rentablen Spannungsverlusten

gerechneten Querschnitte gleichzeitig der Feuersicherheitsbedingung, so disponiert man die Leitungen nach obiger Rechnung, fallen sie jedoch kleiner als die feuersicheren Querschnitte aus, so sind letztere massgebend.

Will man die erwachsenden minimalen jährlichen Stromfortleitungskosten ohne vorherige Ermittlung der Leitungsquerschnitte berechnen, so bediene man sich der hiefür angegebenen Formel 9.

Hat man in der oben angegebenen Weise die einzelnen Querschnitte eines Leitungsnetzes berechnet, so ist dasselbe noch in Hinsicht auf die dritte Bedingung für die Dimensionierung von Leitungsnetzen, welche für alle Lampen stets nahezu gleiche Polspannung fordert, zu untersuchen.

Dabei geht man von der Voraussetzung aus, dass entweder automatisch, oder durch den Maschinisten die Polspannung an einem gewissen Punkte des Leitungsnetzes, welchen wir Kontrollpunkt nennen wollen, konstant erhalten wird, und hat dann die Leitungen derart anzuordnen und zu dimensionieren, dass bei konstanter Spannung an dem Kontrollpunkte auch die Polspannungen an den übrigen Punkten des Leitungsnetzes, gleichviel ob viel oder wenig Lampen eingeschaltet sind, keine wesentlichen Differenzen aufweisen.

Um die Spannung an dem Kontrollpunkte der Leitung konstant erhalten zu können, führt man von demselben

eine Abzweigung bis zur Maschinenanlage der Beleuchtungs-Installation, wo ein sogenannter Spannungszeiger oder eine Kontrollglühlampe in dieselbe eingeschaltet wird.

Der Maschinist hat nun die Aufgabe, mit den ihm zu Gebote stehenden Mitteln, die je nach Wahl des Systemes verschieden sein können, dahin zu trachten, dass die Anzeige der Kontrollapparate und damit die Polspannung am Kontrollpunkte möglichst konstant erhalten wird, für welchen Zweck mitunter auch automatische Reguliervorrichtungen angebracht werden (vgl. Kapitel IV).

Bei den für Glühlichtbeleuchtungen gewöhnlich als Stromquelle dienenden Nebenschluss- und Kompound-Dynamomaschinen wird obige Aufgabe entweder durch Verändern der Tourenzahl der Dynamomaschine oder durch Ein- und Ausschalten von Widerstand in die Nebenschlusswicklung der Elektromagnete erzielt.

Die Wahl des Kontrollpunktes ist auf die zur Erreichung der obigen Bedingung nötigen Leitungsquer-

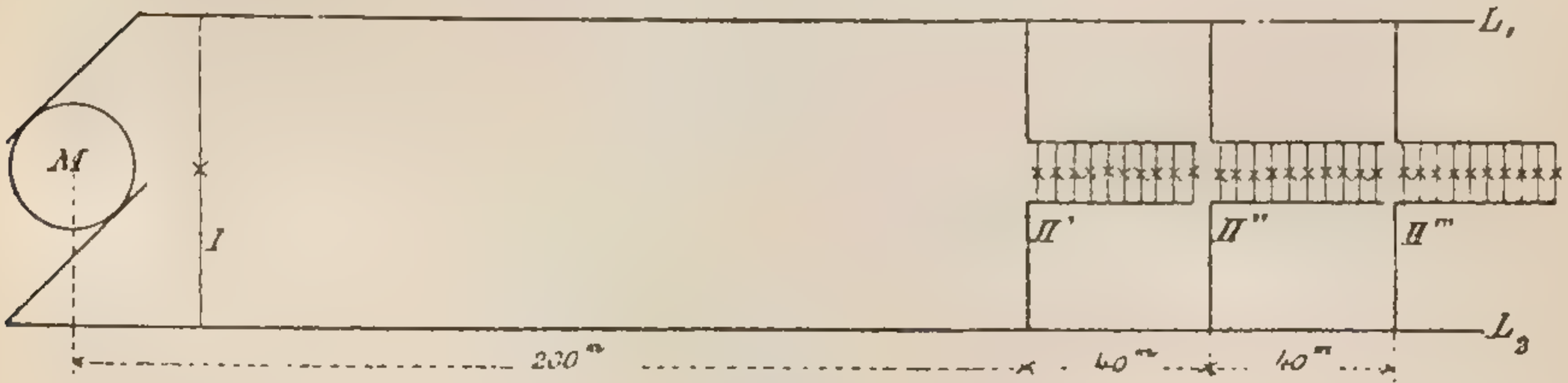


Fig. 115.

schnitte von wesentlichem Einflusse, was in Nachfolgendem näher erklärt werden soll, und worüber die folgenden Beispiele Beweismittel abgeben dürften.

Von der Maschine bei M, Fig. 115, werden 30 Lampen bei II gespeist, welche in drei Gruppen zu je 10 Lampen, jede Gruppe von der anderen 40 m und die erste Gruppe von der Maschine 200 m entfernt, angeordnet sind. Ausser diesen befindet sich im Maschinenhause eine Kontrolllampe I, welche gleich an der Maschine in die Leitung eingeschaltet sei, so dass also der Kontrollpunkt an den Anfang der Hauptleitung verlegt sei.

Die Leitung sei aus blankem Kupferdrahte in einfacher Parallelschaltung ausgeführt.

Wir wollen versuchen, die Berechnung dieses Beispieles in der oben angegebenen Weise durchzuführen und behufs Feststellung der rentablen Querschnitte vorerst die Kabel- und Betriebs-Konstante ermitteln.

Zur Ermittlung der Kabel-Konstanten sei der Preis von 100 kg guten Kupfers (Leitungsfähigkeit = 57) mit fl. 112.— ö. W. angenommen; es ergiebt sich daraus der Preis pro Meter in Gulden ö. W.:

$$P = \frac{\text{Gewicht pro m in kg}}{100} \times 112.$$

Drückt man das Gewicht durch Länge und Querschnitt aus und nimmt das spezifische Gewicht des Kupfers $\gamma = 8{,}9$ an, so erhält man $P = \frac{Q \text{ qmm}}{10.000} \times L \times 10 \times \gamma \times \frac{112}{100}$

$$= \frac{112 \times 8{,}9}{100.000} Q \text{ qmm } L, \text{ für } L = 1 \text{ m}.$$

$$P = \frac{112 \times 8{,}9}{100.000} . Q \text{ qmm} = \frac{1000}{100.000} Q = \frac{1}{100} Q = a Q,$$

d. h. der Preis des blanken Kupferleiters pro Meter in Gulden ö. W. ist gleich dem 100. Teile des Querschnittes in Quadratmillimeter, somit*)

$$a = 1 : 100 \text{ und } c_k = 10.$$

Zur Feststellung der Betriebskonstante sei angenommen, dass die Pferdekraftstunde auf 2 kr. zu stehen komme, und dass für Unterhaltung, Amortisation und Verzinsung jährlich 10 % der Kosten des Leitungsmateriales abgeschrieben werden müssen. Demnach ergiebt sich die Betriebskonstante $C_b = \frac{1}{100}\sqrt{20}$

Obige Werte in die Formel für den rentablen Querschnitt eingesetzt, erhält man:

$$Q_r = \frac{\sqrt{20}\sqrt{T}}{10\sqrt{7{,}36}} \frac{J}{\sqrt{57}}.$$

Die durchschnittliche Dauer des vollen Betriebes im Jahre wäre 750 Stunden, d. i. durchschnittlich circa 2 Stunden täglich, so dass dann $Q_r = \sqrt{0{,}36}\ J$;

---

*) Diese einfache Relation zwischen Preis pro Meter blanken Drahtes und Querschnitt ergiebt sich aus der Annahme des Preises pro 100 kg mit fl. 112 ö. W., der wohl nicht als allgemein giltig bezeichnet, aber immerhin der ersten oberflächlichen Berechnung zu Grunde gelegt werden kann. Rechnet man die Mark zu 60 kr. ö. W., so ergiebt sich der Preis pro 100 kg mit R.-M. 187.— und somit der Preis pro Meter blanken Kupferdrahtes in R.=M., $P_1 = \frac{Q \text{ qmm}}{100} : \frac{60}{100}$ $= \frac{Q}{60}$, d. h gleich dem sechzigsten Teile des Drahtquerschnittes in qmm, sodass dann $c_k = \sqrt{60} = 7{,}74$ wird. Beide Formeln sind im Zusammenhange leicht zu merken.

$Q_r = 0{,}6\,J$ der rentable Querschnitt ca. 0,6mal der maximalen Stromstärke wird.

Nachdem dieser rentable Querschnitt grösser als der feuersichere Querschnitt, nämlich $Q_r > \frac{J}{3} > Q_f$ wird, kann ersterer vom Feuersicherheitsstandpunkte beibehalten werden.

Andèrs verhält es sich jedoch hinsichtlich der dritten Bedingung, nämlich in Bezug auf die notwendige gleiche Spannung an den Polen der eingeschalteten Lampen, indem sich unter diesem Gesichtspunkte die rentablen Querschnitte, wie nachfolgend bewiesen, als zu schwach erweisen.

Wenn z. B. die von der Leitung gespeisten 30 Stück Glühlampen bei einer Polspannung von 120 Volt und einem Stromverbrauch von 0,5 Ampère mit 16 NK. leuchten würden, so würde sich ein rentabler Querschnitt von $Q_r = 0{,}6 \times 30 \times 0{,}5 = 9$ qmm ergeben. Der durch diese Leitung bis II_1 verursachte Spannungsverlust würde betragen $\delta E = 11{,}7$ Volt, d. h. es treten von der Kontrolllampe bis zu den Lampen bei II_1 ca. 12 Volt Verlust auf, oder es erhält erstere bei Beibehaltung der rentablen Querschnitte um ca. 12 Volt mehr Spannung als die Lampen bei II_1 und wird daher, wenn sie diesen gleich konstruiert ist, bedeutend heller brennen und stärker beansprucht.

Um das zu verhindern, könnte man, wenn immer alle Lampen gleichzeitig brennen, vor die Lampe I einen

Widerstand schalten, welcher den Überschuss an Spannung verzehrt, oder man könnte eine Lampe einschalten, welche erst bei 132 Volt normal brennt; beide Auswege werden jedoch gänzlich unzulässig, wenn die Möglichkeit vorhanden sein soll, die Lampen einzeln oder in Gruppen aus- und einzuschalten.

Es würde dann bei konstanter Spannung an der Kontrolllampe bei der Stromquelle die Spannung an den

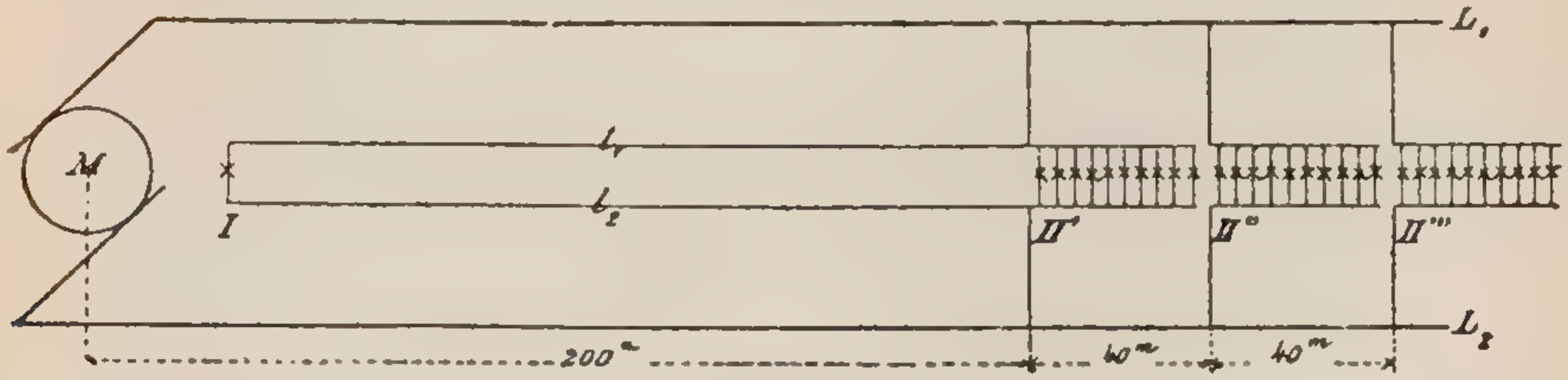


Fig. 116.

restierenden Lampen bei II mit der Anzahl der ausgeschalteten Lampen steigen, indem, wie das Ohm'sche Gesetz zeigt, der Spannungsverlust mit der Stromstärke wächst und abnimmt, so dass, wenn von den 30 Lampen bei II 29 ausgeschaltet werden, die restierende eine Lampe, da sie nur für 120 Volt eingerichtet, aber mit nunmehr ca. 131 Volt beansprucht wäre, wahrscheinlich bald zu Grunde gehen würde.

Sollten also die Lampen bei II einzeln oder in Gruppen ausschaltbar sein, so muss an der ursprünglichen Bedingung III strikte festgehalten und entweder die Leitung so dimensioniert werden, dass die Spannungsdifferenz zwischen I und II unbedeutend ist (z. B. nicht über 1 oder 2 Volt),

oder man hat die Kontrolllampe I von der eigentlichen Verbrauchsstelle II aus mit Strom zu versehen, d. h. eine Abzweigung von II bis nach I zu ziehen und in diese die Lampe einzuschalten. (Siehe Fig. 116.)

Man erkennt, dass, wenn nunmehr die Spannung der Kontrolllampe konstant erhalten wird, auch die der Lampen II_1 keinen Schwankungen ausgesetzt ist, indem ja nun alle solche Schwankungen der Kontrolllampe mitgeteilt werden müssten und vom Maschinisten sofort ausgeglichen würden, und dass ferner auch die Lampen II_2 und II_3 kaum merklich anders brennen werden, als die bei II_1 und die Kontrolllampe, da die Entfernung

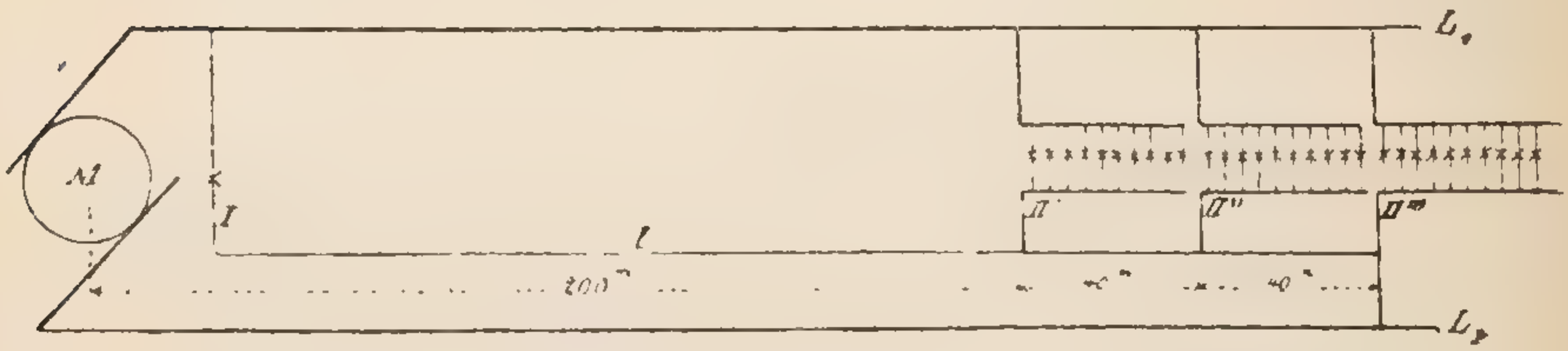


Fig. 117.

dieser Lampen von einander eben nicht erheblich ist. Der Leitungsverlust in den Leitungen l_1 und l_2 kommt hier nicht in Betracht, da er erstens bei gewöhnlichen Distanzen nie bedeutend wird, wenn, wie hier angenommen, nur eine Kontrolllampe eingeschaltet ist, und da er zweitens stets konstant bleibt.

Um nicht zwei Leitungen l_1 und l_2 zurückführen zu müssen, bedient man sich häufig mit Vorteil der sogenannten Gegenschaltung, welche durch Fig. 117 veranschaulicht ist.

Man sieht sofort, dass der Strom jeder der eingeschalteten Lampen die gleichen Leiterlängen zu durchfliessen hat und erkennt, dass wenn z. B. alle Leitungen mit rentablen Querschnitten versehen werden, und für alle Leitungen die Faktoren c_k, c_b und $\sqrt{\Gamma}$ oder deren Produkt das gleiche ist, und wenn ferner stets der volle Betrieb geführt wird, der Spannungsverlust und daher auch die Polspannung bei jeder Lampe die gleiche wird.

Da es nun aber schon wegen der Feuersicherheits-Bedingung nicht angeht, durchweg rentable Querschnitte zu verwenden und ferner das Produkt $c_k\, c_b\, \sqrt{\Gamma}$, welches ja die rentablen Querschnitte beeinflusst, nicht für alle Punkte der Leitung das gleiche werden kann, und endlich, weil die Lampen einzeln und in Gruppen ausschaltbar sein sollen, wird durch die Gegenschaltung die Bedingung der gleichen Spannung an allen Lampen nicht immer erfüllt, sondern es können trotz Gegenschaltung wesentliche Differenzen in der Spannung der einzelnen Lampen auftreten.

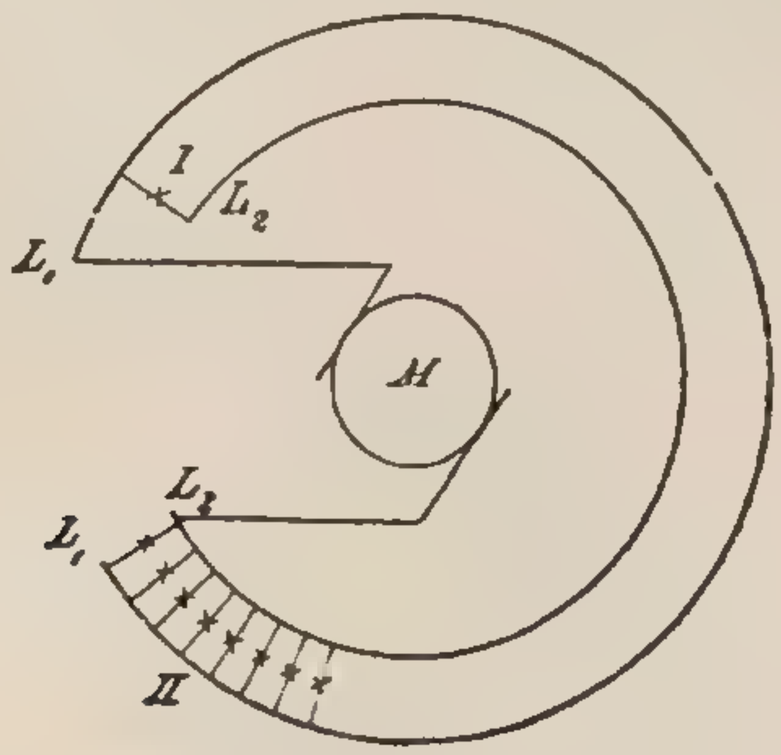


Fig. 118.

Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 118 dargestellt. Wenn an der der Kontrolllampe I entgegengesetzten Seite II der Gegenschaltung starke Stromstärken ein- und ausgeschaltet werden, wird die Polspannung bei II wesentlich differieren, ohne dass die Kontrolllampe I davon etwas anzeigt, indem nur sehr kurze Stücke der zu I führenden Leitungen von diesen Stromänderungen betroffen würden.

Es wird sich demnach empfehlen, die durch die Leitungen verursachten Spannungsverluste für verschiedene Kombinationen der Glühlampen zu berechnen und darnach die Leitungen zu dimensionieren.

Der Leitungsverlust bis zu einer beliebigen Stelle einer Leitung ergiebt sich aus der Summe der Produkte der die einzelnen Leiterteile durchfliessenden Stromstärken mal dem Widerstande dieser Leiterteile, also

$$\delta E = \Sigma [J \times W] = \Sigma J [L : Q K].$$

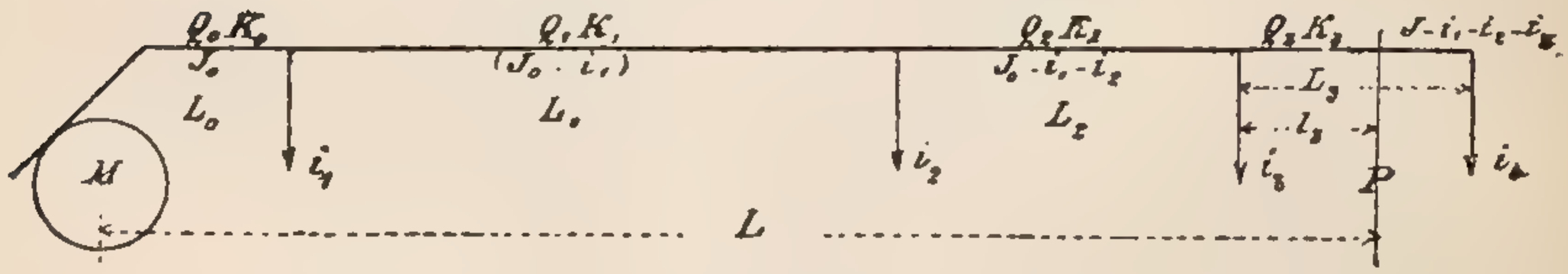


Fig. 119.

Wäre z. B. in Fig. 119 der Leitungsverlust von der Maschine bis zu Punkt P zu berechnen, so müsste man erst die die einzelnen Leiterteile durchfliessenden Stromstärken nach Abzählung der von denselben gespeisten Lampen berechnen.

Am besten verfährt man dabei, indem man den von der Maschine geleisteten Strom bestimmt und aus diesem

und den einzelnen Abzweigungen die Stromstärken in den betreffenden Leiterteilen ermittelt.

So berechnet ergiebt sich der Spannungsverlust bei P:

$$\delta E = \left[J\left(\frac{L_0}{Q_0 K_0} + \frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \frac{l_3}{Q_3 K_3}\right) - i_1\left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \frac{l_3}{Q_3 K_3}\right) - i_2\left(\frac{L_2}{Q_2 K_2} + \frac{l_3}{Q_3 K_3}\right) - i_3 \frac{l_3}{Q_3 K_3} \right]$$

„d. h. der Spannungsverlust bis zu einer beliebigen Stelle eines Leiters ist gleich jenem Spannungsverluste, welcher auftreten würde, wenn die gesamte zugeführte Stromstärke bis zu obiger Stelle fliessen würde, weniger jenen Spannungsverlusten, welche entstehen würden, wenn die vorhandenen Abzweigungen von diesem letzteren Punkte aus versorgt würden."

Wenn es gestattet ist, für die Ausdrücke JL:QK den Ausdruck „Leitungsmoment" einzuführen, so sagt obige Regel:

„Der Spannungsverlust bis zu einer beliebigen Stelle eines Leiters ist gleich dem Leitungsmomente der Stromzuführung, weniger jenem der Abzweigungen gegen jene Stelle oder gleich der algebraischen Summe der Leitungsmomente aller Stromzu- und Abführungen bis zu jener Stelle, bezogen auf dieselbe."

Komplizierter werden die Verhältnisse, wenn von zwei oder mehreren Seiten Stromzufluss stattfindet. Es werde z. B. der in Fig. 120 dargestellte Fall untersucht.

Die Bestimmung der in den einzelnen Querschnitten fliessenden Stromstärken kann hier nicht mehr wie früher durch einfaches Abzählen der gespeisten Lampen, sondern

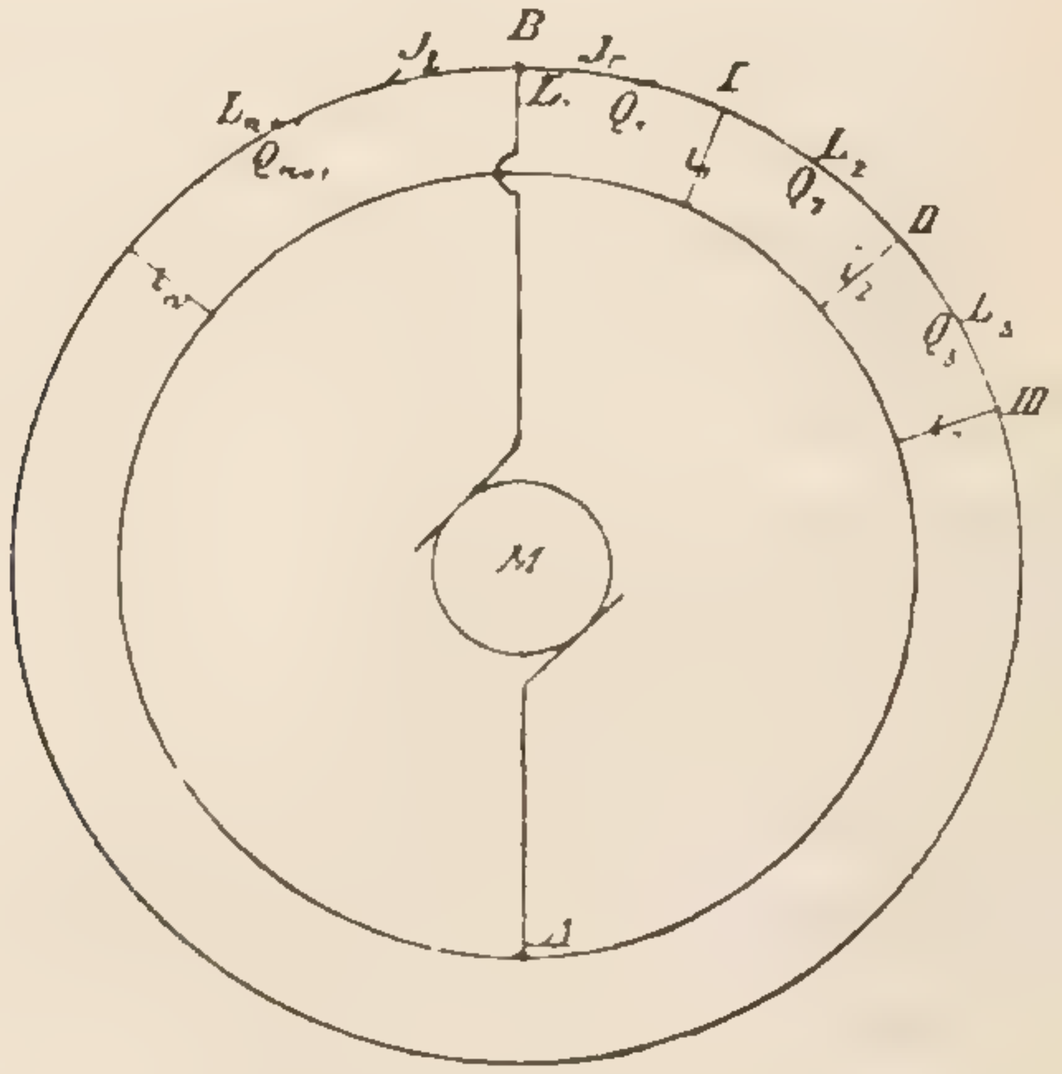


Fig. 120.

erst nach Wahl der einzelnen Querschnitte, resp. deren Verhältnis zu einander und nach Auflösung einer Gleichung mit zwei Unbekannten geschehen. Dabei hat man von folgender Betrachtung auszugehen: An einem gewissen Punkte der Leitung müssen die von links und die von rechts zugeführten Ströme zusammenkommen und müssen daselbst die durch den rechten und den linken Leiter verursachten Spannungsverluste einander gleich sein, d. h. es muss die Gleichung bestehen:

$$\Sigma \delta e_l = \Sigma \delta e_r \text{ —.}$$

Wie schon mehrfach entwickelt wurde, ist $\delta e =$ $(L : QK)\, J$ und somit $\Sigma \left[\frac{L_l}{Q_l K_l} J_l \right] = \Sigma \left[\frac{L_r}{Q_r K_r} J_r \right]$.

Nennt man die von B nach rechts fliessende Stromstärke J_r, dagegen die nach links strömende J_l und bezeichnet die einzelnen im Sinne der Uhr von B aus folgenden Stromabzweigungen fortlaufend mit i_1, i_2, i_3 .... i_n und ebenso die Abstände derselben von B, resp. von einander mit L_1, L_2, L_3 ..... L_{n+1}, während die Querschnitte dieser einzelnen Leiterlängen mit Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 .... Q_{n+1} und die Leitungsfähigkeit des dazu verwendeten Materiales mit K_1, K_2, K_3 .., K_{n+1} bezeichnet werden, so lässt sich die Gleichung wie folgt auflösen:

$$\frac{J_r L_1}{Q_1 K_1} + \frac{(J_r - i_1) L_2}{Q_2 K_2} + \frac{(J_r - i_1 - i_2) L_3}{Q_3 K_3} + \ldots\ldots =$$

$$= \frac{J_l L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{(J_l - i_n) L_n}{Q_n K_n} + \ldots\ldots$$

Hier sind L_1 bis L_{n+1}, sowie i_1 bis i_n bekannt. Q_1 bis Q_{n+1}, sowie K_1 bis K_{n+1} oder deren Verhältnis zu einander, müssen gewählt werden, damit die beiden Unbekannten J_r und J_l aus obiger Gleichung und der zweiten Bedingung nämlich $J_r + J_l = i_1 + i_2 + \ldots\ldots i_n$ gefunden werden können. Für $J_l = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots . i_n$ — J_r stellt sich obige Gleichung nach Produkten von J_r und i geordnet wie folgt dar:

$$J_r \left(\frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{L_n}{Q_n K_n} + .. + \frac{L_3}{Q_3 K_3} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \frac{L_1}{Q_1 K_1} \right) = i_1 \left(\frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{L_n}{Q_n K_n} + .. + \frac{L_2}{Q_2 K_2} \right) +$$

$$+ i_2 \left(\frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{L_n}{Q_n K_n} + .. + \frac{L_3}{Q_3 K_3} \right) + \ldots\ldots$$

$$+ i_{n-1} \left(\frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{L_n}{Q_n K_n} \right) + i_n \frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}};$$

ebenso hätte man für J_1 erhalten

$$J_1 \left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \cdots + \frac{L_n}{Q_n K_n} + \frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}}\right) =$$

$$i_n \left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \cdots + \frac{L_n}{Q_n K_n}\right) +$$

$$i_{n-1} \left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2} + \cdots + \frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}}\right) + \cdots$$

$$+ i_2 \left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2}\right) + i_1 \frac{L_1}{Q_1 K_1}$$

Diese Gleichungen sagen, wenn wie oben die Ausdrücke JL : QK Leitungsmomente benannt werden, aus: „Die Summe der Leitungsmomente der einzelnen Abzweigungen gegen den einen Zuführungspunkt ist gleich dem Leitungsmomente der Stromzuführung vom zweiten Zuführungspunkte gegen ersteren."

Der Spannungsverlust an einer beliebigen Stelle z. B. bei II ist wie ebenfalls aus der Ausgangsgleichung hervorgeht gleich:

$$\delta E_{II} = \left[J_r \left(\frac{L_1}{Q_1 K_1} + \frac{L_2}{Q_2 K_2}\right) - i_1 \frac{L_2}{Q_2 K_2}\right] =$$

$$J_1 \left(\frac{L_{n+1}}{Q_{n+1} K_{n+1}} + \frac{L_n}{Q_n K_n} + \cdots + \frac{L_3}{Q_3 K_3}\right) -$$

$$i_n \left(\frac{L_n}{Q_n K_n} + \frac{L_{n-1}}{Q_{n-1} K_{n-1}} + \cdots + \frac{L_3}{Q_3 K_3}\right) - \cdots - i_3 \frac{L_3}{Q_3 K_3}.$$

Diese Gleichung sagt bei Beibehaltung der früheren Benennung:

„Der Spannungsverlust an einer beliebigen Stelle ist gleich der algebraischen Summe der

Leitungsmomente aller links oder rechts befindlichen Stromzu- und Abführungen gegen die ins Auge gefasste Zone."

Nimmt man durchweg gleichen Querschnitt und Leitungsfähigkeit an, d. h. setzt man $Q_1 K_1 = Q_2 K_2 = \ldots = Q_{n+1} K_{n+1}$, so vereinfachen sich obige Gleichungen ziemlich bedeutend.

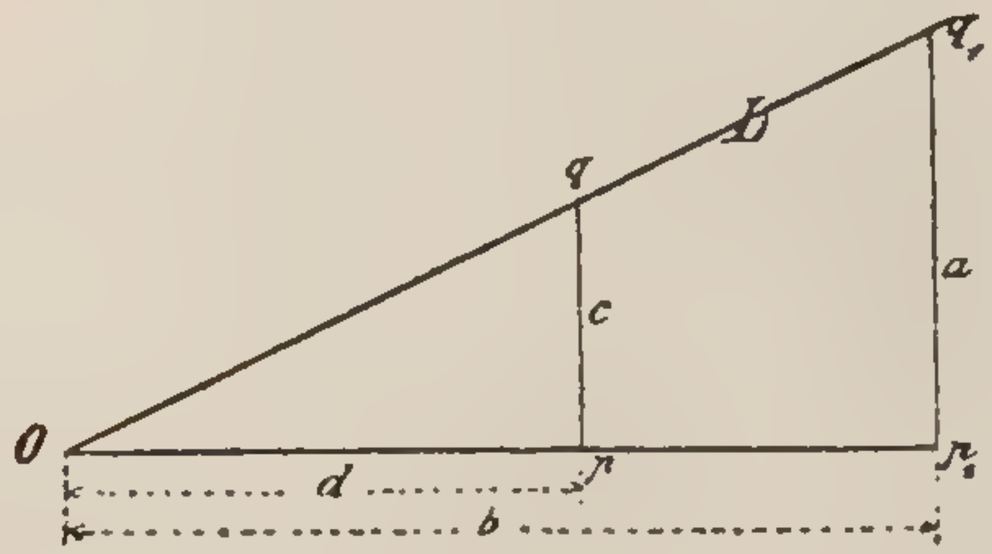


Fig. 121.

Trotzdem gewährt die Rechnung keinen übersichtlichen Einblick in die Verhältnisse.

Man ist daher gezwungen, zur graphischen Darstellung seine Zuflucht zu nehmen.

Eine solche ist leicht zu erhalten, wenn man die Gleichung $\delta E = L J : Q K$ in die Form einer Proportion bringt und diese dann durch ähnliche Dreiecke darstellt.

Aus obiger Gleichung lassen sich folgende Proportionen ableiten:

1) $\delta EQ : L = J : K$; 2) $\delta E : L = J : KQ$; 3) $Q : L = J : K\delta E$.

Dieselben haben sämtlich die Form $a : b = c : d$. In dieser Proportion stellt a die vierte Proportionale zu den drei gegebenen Grössen b, c und d vor, und kann auf verschiedene Arten konstruiert werden.

In vorstehender Fig. 121 wurde z. B. der dem gegebenen Verhältnisse c : d entsprechende Strahl L konstruiert, indem man von O aus d als Abscisse und c als die dazugehörige Ordinate von p aus aufgetragen und O mit q verbunden hat. Hierauf wurde $O\,p_1 = b$ und $p_1\,q_1 \parallel p\,q$ gemacht und ergab sich dabei $p_1\,q_1 = a$ als die gesuchte Strecke, denn es verhält sich

$$a : b = c : d.$$

Dieses Konstruktionsverfahren lässt sich auf alle drei obigen Proportionen anwenden.

Will man z. B. den Spannungsverlust δE suchen, welcher in einem von der Stromstärke J durchflossenen Leiter vom Querschnitt Q und der Leitungsfähigkeit K auf der Länge L desselben auftritt, so hat man auf einer den Leiter darstellenden Geraden O P, siehe Fig. 122, in der Entfernung Q K vom Ausgangspunkte O (nach einem Längenmassstabe gemessen) auf einer Normalen die den Leiter durchfliessende Stromstärke J (nach einem Strommassstabe) aufzutragen und erhält dann den auf der Länge L des Leiters auftretenden Spannungsverlust δE, wenn man in der Entfernung L vom Ausgangspunkte eine Normale $p_1\ q_1$ bis zum Schnitte mit dem verlängerten Strahle $O\,q\,q_1$ errichtet und die Länge dieser Normalen am Strommassstabe abmisst.

Hätte man $O\,p = K$ gemacht, so würde Y das Produkt $\delta E\,Q$ darstellen, während, wenn $O\,p = K\,\delta E$ gemacht wird, $Y = Q$ wird, d. h. jenen Querschnitt giebt, bei welchem auf die Länge L und durch die Stromstärke J der Spannungsverlust δE entsteht.

Ändert sich an einer Stelle des Leiters die denselben durchfliessende Stromstärke, z. B. zufolge einer

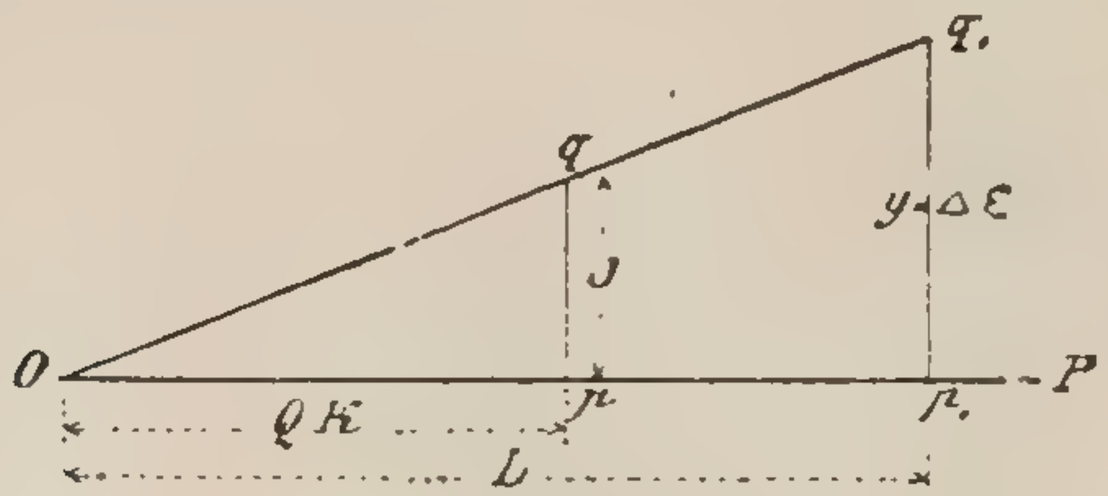


Fig. 122.

Abzweigung, so erhält man die Summe der Spannungsverluste an einem beliebigen Punkte, indem man die Konstruktion an den Abzweigepunkten in derselben Weise wie früher wiederholt (siehe Fig. 123).

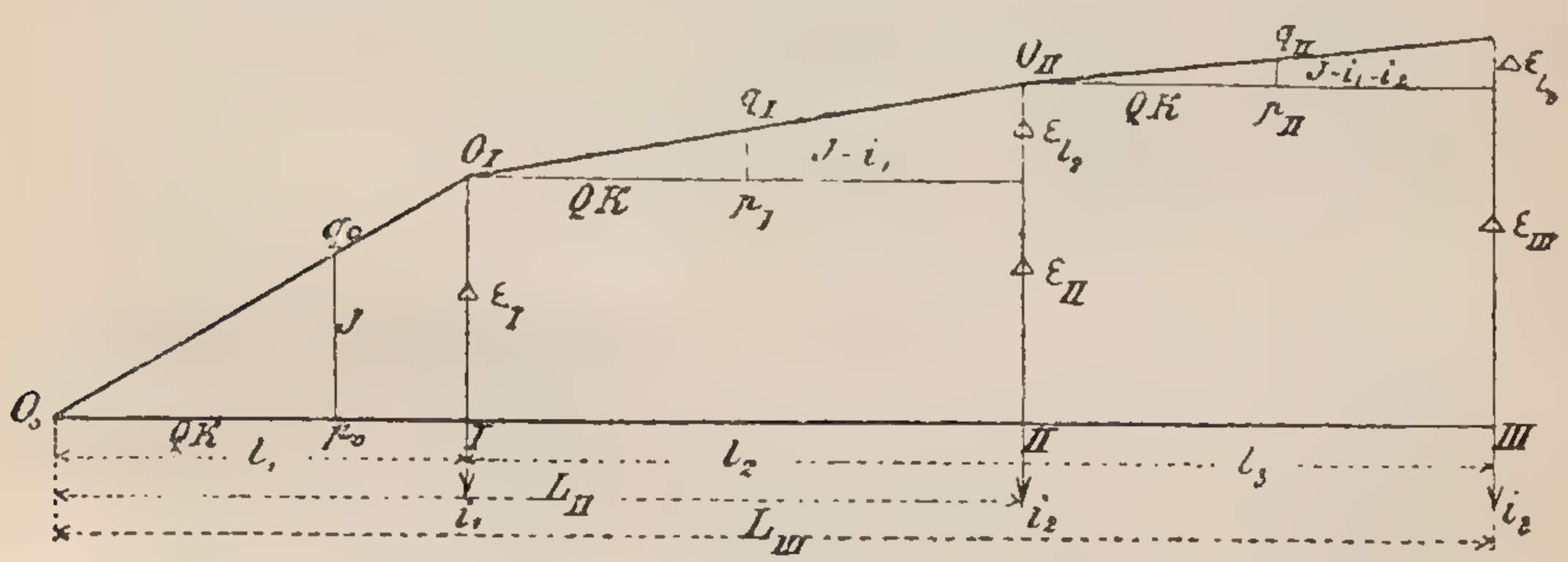


Fig. 123.

Man konstruiert also zuerst den Spannungsverlust bei I, nämlich δE_1, dann den sich zu demselben addierenden Spannungsverlust δE_{12} und erhält in der Summe der beiden den Spannungsverlust δE_{II} und so fort.

Behufs Vereinfachung des Verfahrens kann man die Dreiecke $O_0\, p_0\, q_0$, $O_I\, p_I\, q_I$, $O_{II}\, p_{II}\, q_{II}$ in einer Figur ver-

einigen und braucht dann nur die entsprechenden Parallelen zu ziehen (siehe Fig. 124). Bei dieser Konstruktion erscheinen die einzelnen von O_0 aufeinanderfolgend abzweigenden Stromstärken in derselben Reihenfolge auf der Linie $p_0 q_0$, von q_0 nach abwärts betrachtet. Es ändert an der Sache nichts, wenn man die Konstruktion um 180° gedreht ausführt, d. h. die von O_0 ausfliessende Stromstärke J zuerst auf einer Vertikalen $O_0 3$, siehe Fig. 125, aufträgt und in dem so erhaltenen Punkte eine horizontale Gerade zieht, auf welcher die Strecke Q K aufgetragen wird.

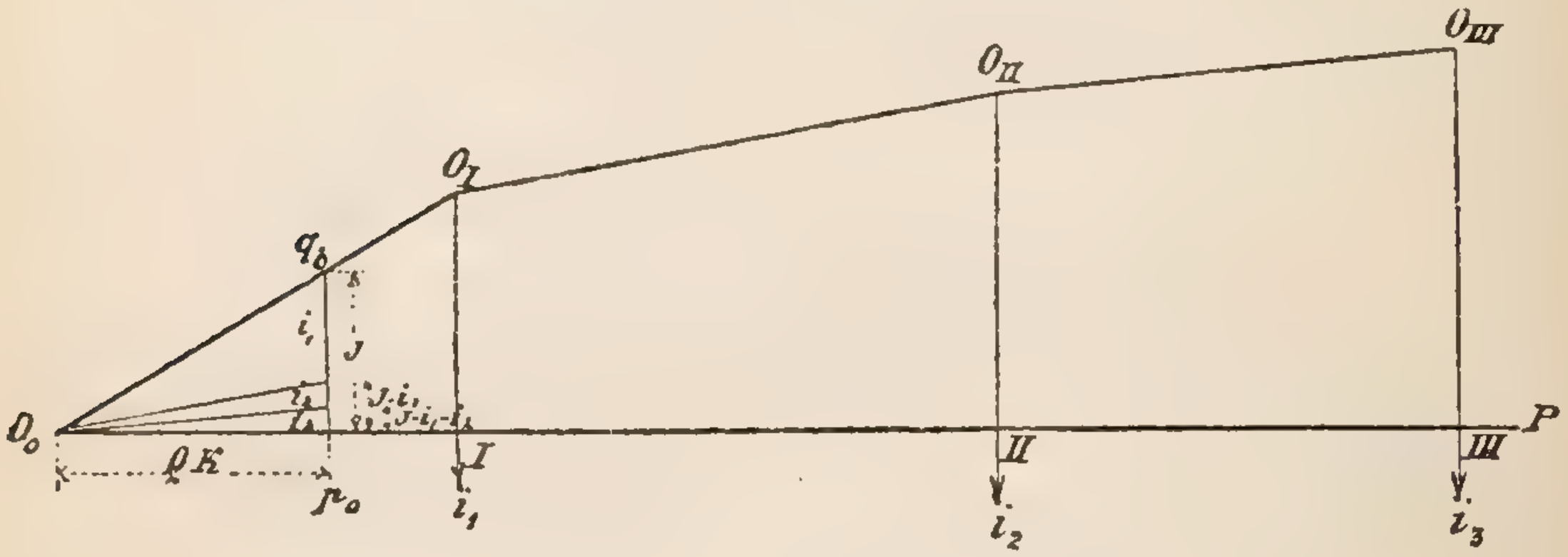


Fig. 124.

Man erhält die einzelnen Hypotenusen parallel wie früher, hat aber den Vorteil, dass die von O_0 aus aufeinanderfolgenden Stromabzweigungen auch in der Konstruktion von O_0 aus aufeinanderfolgen.

Ausserdem erhält man leicht ein Bild der in den einzelnen Leitungs-Querschnitten fliessenden Stromstärken in den Ordinaten einer Fläche (in Fig. 125 schraffiert), welche erhalten wird, wenn man von den Punkten 1,

2 , 3.... des Konstruktions-Dreieckes Parallele zur Grundlinie bis zu den Richtlinien der betreffenden Abzweigungsstellen zieht.

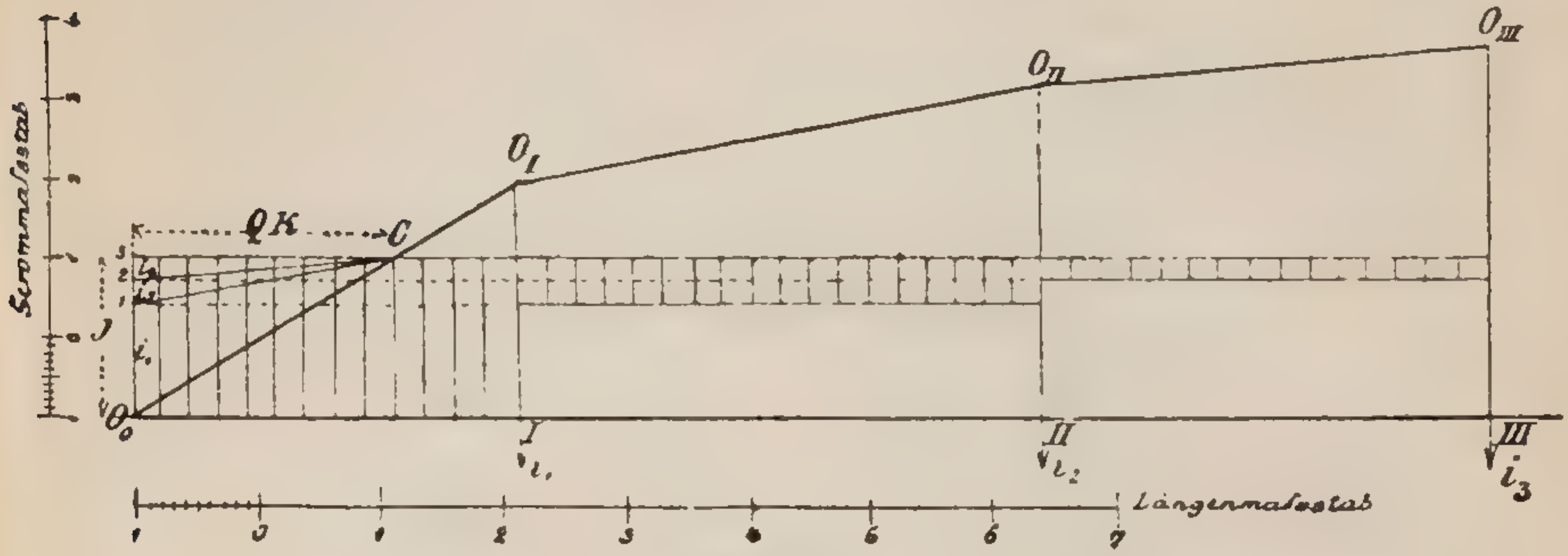


Fig. 125.

Um sich in den Massstäben nicht zu irren, konstruiere man den Längenmassstab horizontal, den Strommassstab aber vertikal und merke sich, dass alle Strecken in dem ihnen parallelen Massstabe aufzutragen oder abzugreifen sind.

Wenn irgendwo der Querschnitt des Leiters geändert wird, z. B. in der Entfernung l von O_0, so hat man behufs Bestimmung des Spannungsverlustes nur die Poldistanz $H = Q\,K$ von da an in $H_1 = Q_1\,K$ zu ändern, das heisst den Pol C nach C_1 zu versetzen (siehe Fig. 126).

Eine solche graphische Darstellung gewährt oft weit mehr Einblick in die Verhältnisse wie die Rechnung und dürfte oft schneller durchzuführen sein, wie diese. Sie gewährt überdies noch den Vorteil, dass man bei eventuellen Änderungen in den der ersten Untersuchung

zu Grunde gelegten Verhältnissen leicht den Einfluss derselben erkennen kann.

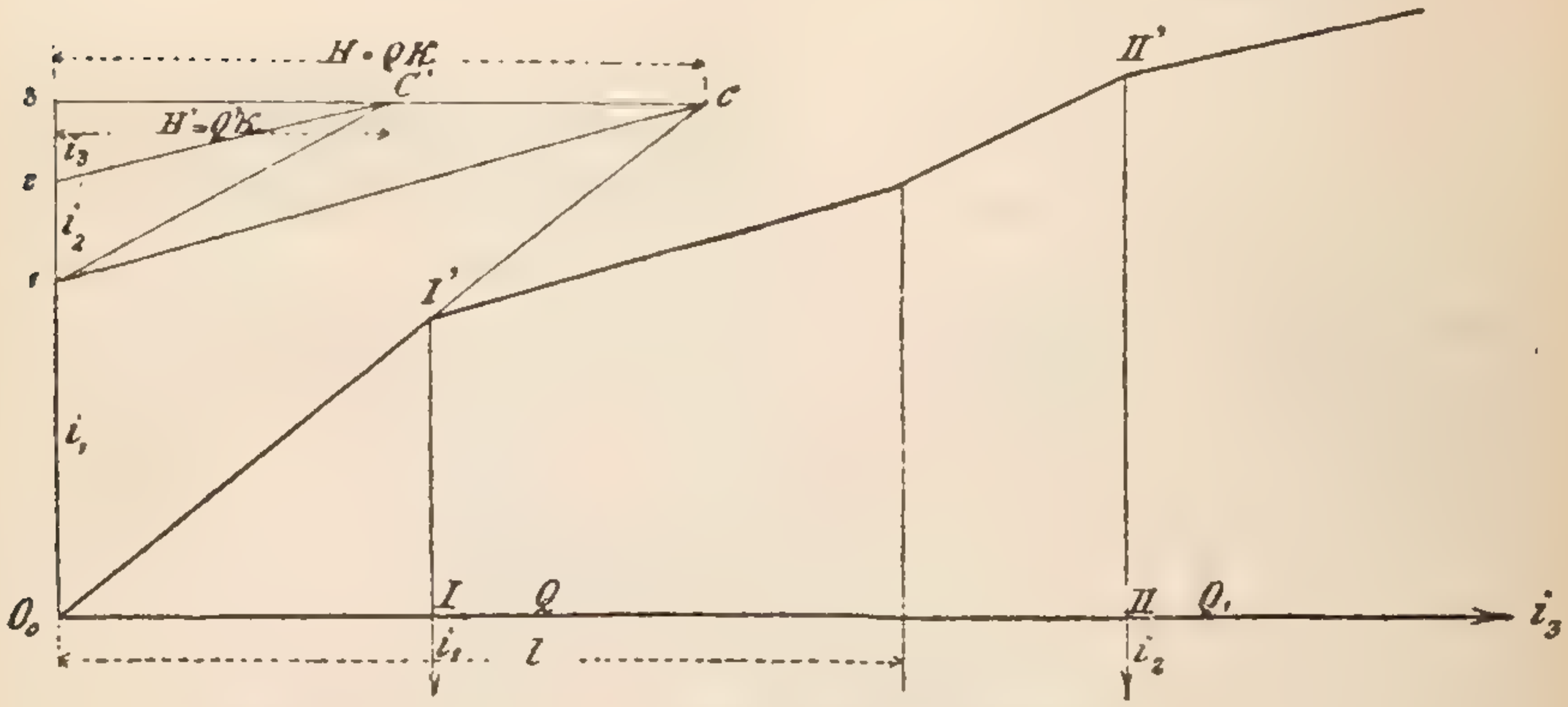


Fig. 126.

Besonders dankbar wird die graphische Behandlung, wenn wir mit komplizierten Verhältnissen zu thun haben.

Zum Beweis ist der in Fig. 120 dargestellte Fall nachstehend graphisch untersucht. Dabei wurde der ins Auge gefasste Leiter bei B auseinandergeschnitten gedacht und in eine Gerade BB ausgestreckt — siehe Fig. 127. Die Punkte I, II, III.... sind Abzweigungspunkte, an welchen die Stromstärken i_1, i_2, i_3 .... Überleitung finden. Die Entfernungen dieser Punkte von einander, resp. von B sind L_1, L_2, L_3 .... L_n, L_{n+1} und die Querschnitte dieser Leiterlängen, bezw. Q_1, Q_2, Q_3 .... Q_{n+1}. Letztere seien zur Vereinfachung des Falles einander gleich, also $Q_1 = Q_2 = \ldots = Q_{n+1} = Q$ angenommen.

Ausserhalb der Figur sind nun die Stromdreiecke konstruiert, indem auf einer Geraden B D aufeinanderfolgend die in den einzelnen Punkten I, II, III . . . abzweigenden Stromstärken nach einem Strommassstabe gemessen, aufgetragen wurden, und in der Poldistanz H = 57 davon entfernt der Pol C gewählt und mit den einzelnen Abschnitten der Geraden B D verbunden wurde.

Zu den so erhaltenen Polstrahlen sind aufeinanderfolgend von Abzweigung zu Abzweigung Parallele gezogen, wodurch als Endpunkt dieses Linienzuges B_1 gefunden wurde.

Zieht man nun vom Pole C eine Parallele zu der Schlusslinie B_1 B, so wird die Summe aller abzweigenden Stromstärken in die beiden zuströmenden Stromstärken J_l und J_r geteilt.

Der Beweis über die Richtigkeit dieser Konstruktion lässt sich ähnlich wie bei Berechnung dieses Falles erbringen, indem man sich den Leiter bei III getrennt denkt, und für jeden Teil separat die graphische Darstellung des Produktes $Q \delta E$ konstruiert, wobei man die früher erhaltenen, bei B nach links und rechts strömenden Stromstärken als richtig annimmt. Die Konstruktion ergiebt, dass die dadurch erhaltene Ordinate y sowohl für die rechte als auch für die linke Hälfte des Leiters gleich gross wird, d. h. dass bei gleichem Querschnitte der beiden Leiter die Spannungsverluste in beiden Leitern gleich gross werden, so dass ein Trennen oder Verbinden derselben bei III ohne Einfluss ist, oder umge-

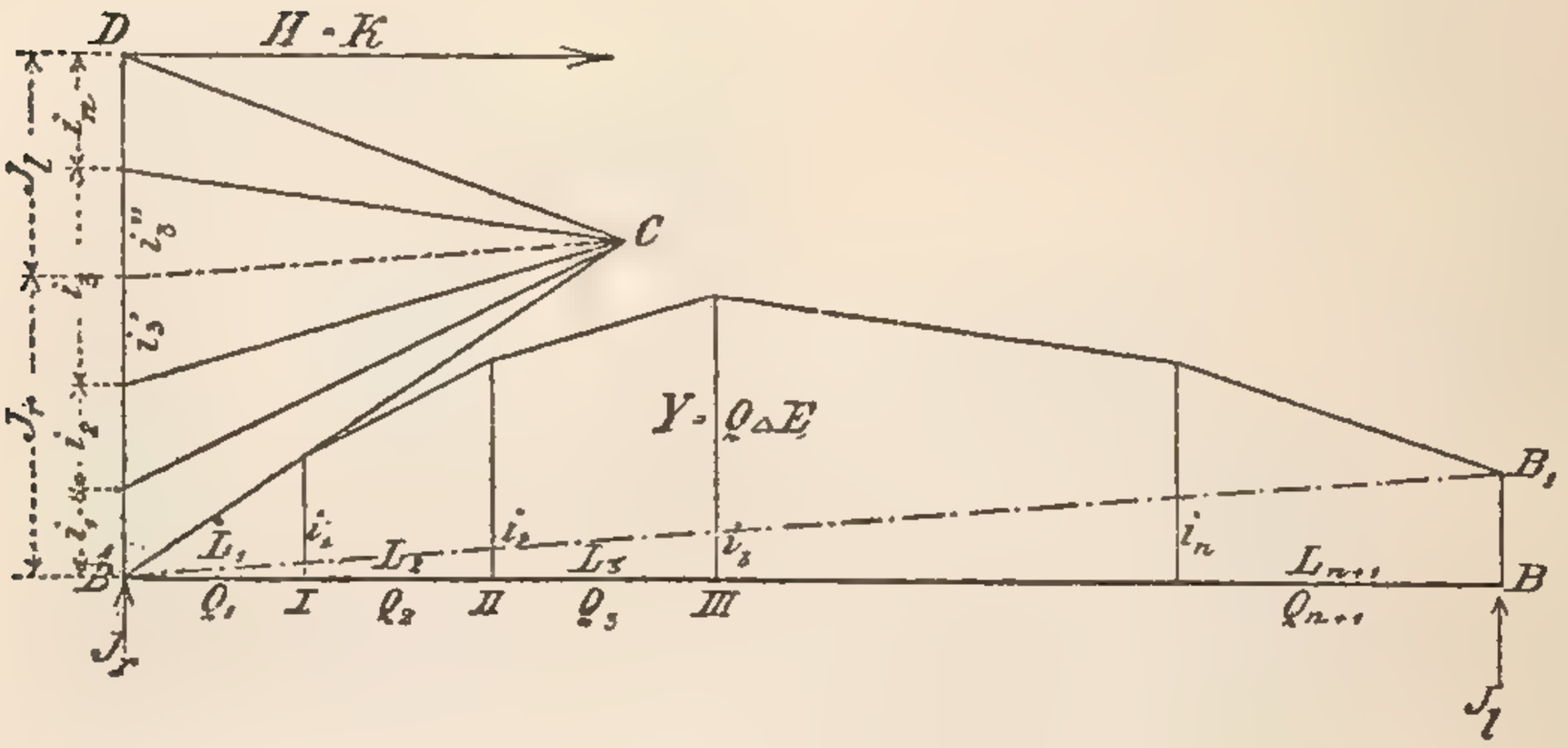


Fig. 127.

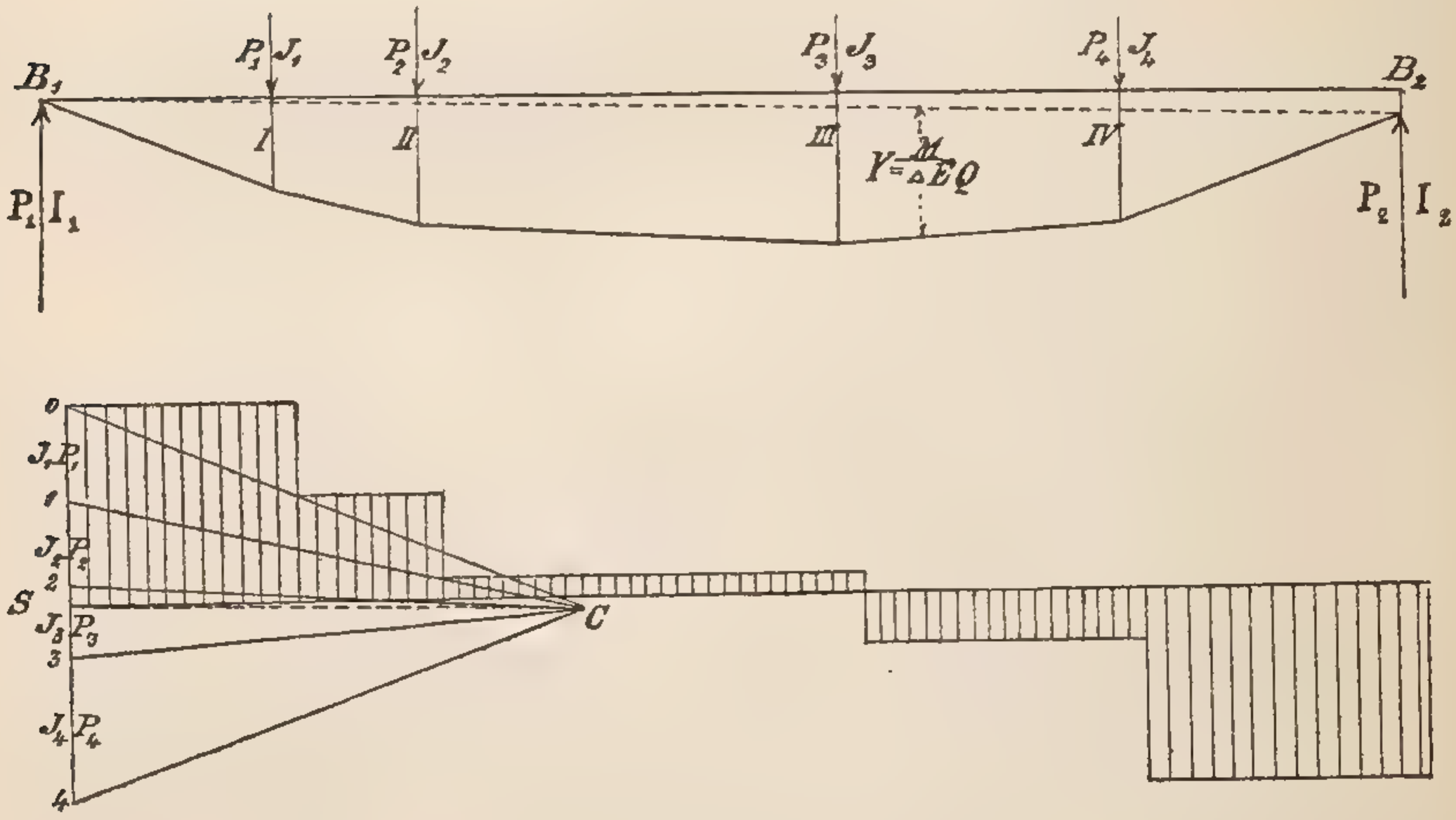


Fig. 123.

kehrt, dass bei einem kontinuierlichen Leiter von gleichem Querschnitte wirklich J_r und J_l nach rechts resp. links zuströmen werden.

Die allgemeine Richtigkeit dieser Konstruktion lässt sich durch die volle Analogie dieses Falles mit jenem der Statik, bei welchem ein an beiden Enden unterstützter Träger von mehreren Einzellasten beansprucht wird, und durch Verwendung der hiefür geltenden Hilfssätze der Graphostatik erweisen.

Die Graphostatik lehrt die Auffindung der in den Stützpunkten B_1 und B_2 (Fig. 128) wirkenden Auflagerdrucke, resp. deren Reaktionen durch folgende Konstruktion:

Man konstruiere die Kräftedreiecke unter Annahme eines beliebigen Kräftepoles C und das zugehörige Seilpolygon, indem man zu den Polstrahlen des Kräftedreieckes zwischen den Richtlinien der parallelen Einzelkräfte Parallele zieht, und den Endpunkt des so erhaltenen Linienzuges mit dem Ausgangspunkte desselben durch die sogenannte Schlusslinie verbindet. Ein im Kräftedreieck zu dieser Schlusslinie parallel gezogener Polstrahl C S zerlegt die, die Summe aller parallelen Einzelkräfte darstellende Strecke O 4 in die beiden Komponenten O S und S 4, welche die in den Stützpunkten herrschenden Auflagerdrucke, resp. deren Reaktionen darstellen. Die Ordinaten des Seilpolygons geben ein Bild der in jedem beliebigen Querschnitte herrschenden Biegungsmomente. Die Transversalkräfte an jedem beliebigen Punkte sind durch die Ordinaten der schraffierten Flächen dargestellt.

Ganz analog gelten für die graphische Untersuchung von Glühlichtleitungen, welche von zwei Punkten mit gleichen und konstanten Polspannungen Strom zugeführt erhalten, folgende Sätze.

Man konstruiere die Stromdreiecke unter Annahme eines Poles C über einer zu der Richtlinie des Stromleiters normalen Basis und das zugehörige Seilpolygon, indem man zu den Polstrahlen der Stromdreiecke zwischen den auf dem Stromleiter normalen Richtlinien der Stromabzweigungen Parallele zieht und den Endpunkt des so erhaltenen Linienzuges mit dem Ausgangspunkte desselben durch die sogenannte Schlusslinie verbindet.

Ein im Stromdreiecke zu dieser Schlusslinie parallel gezogener Polstrahl C S zerlegt die die Summe aller Stromabzweigungen darstellende Strecke O4 in die beiden Komponenten O S und S4, welche die von den Punkten B_1 und B_2 zuzuführenden Stromstärken darstellen.

Die Ordinaten des Seilpolygons geben ein Bild des in jedem beliebigen Punkte herrschenden Spannungsverlustes.

Die den Leiter an jeder Stelle durchfliessenden Stromstärken lassen sich durch die Ordinaten von Rechtecken darstellen, welche durch die Richtlinien der einzelnen

Abzweigungen und daraut normal gezogene Linien aus den entsprechenden Punkten der Basis des Stromdreieckes gebildet sind.

Mit Zuhilfenahme dieser Lehrsätze, sowie nach dem früher angegebenen, lässt sich die graphische Untersuchung der in Figur 120 dargestellten Anordnung durchführen.

Nicht uninteressant gestaltet sich die Untersuchung eines Leitungsstranges, welcher von zwei Punkten Strom zugeführt erhält und auf seiner ganzen Länge gleichmässig Strom abgiebt, wie das z. B. bei einem gleichmässig mangelhaft isolierten Leitungsstrange eintreten kann.

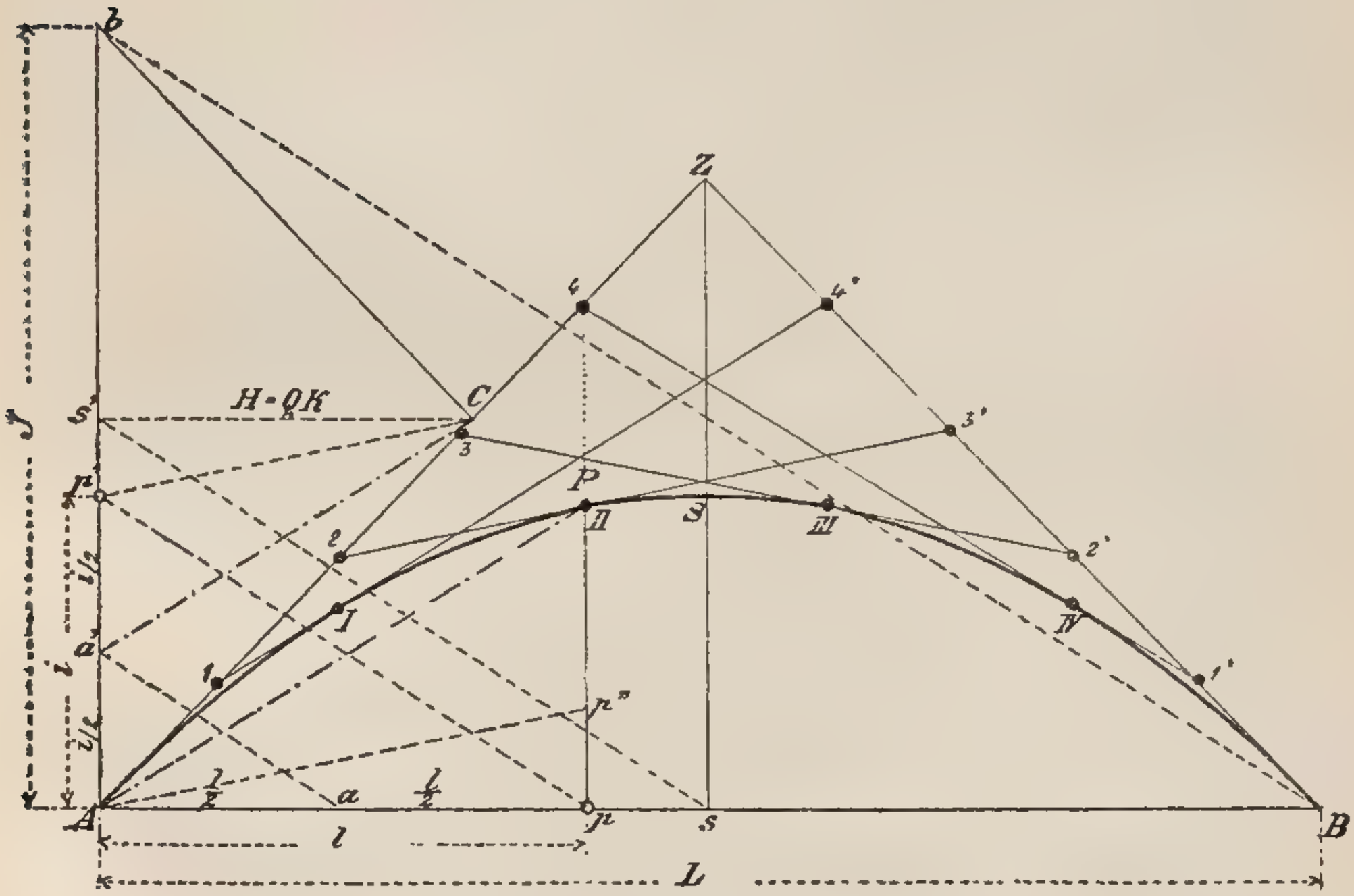


Fig. 129.

Nach dem früher Gesagten dürfte es sofort einleuchtend erscheinen, dass dieser Fall analog jenem der Statik ist, wo die Wirkung einer gleichmässig über die ganze Länge eines an zwei Punkten unterstützten Trägers verteilten Belastung, z. B. des Eigengewichtes desselben, untersucht wird.

Wie in diesem Falle die auftretenden Biegungsmomente als Ordinaten einer Parabel erscheinen, müssen sich hier auch die auftretenden Spannungsverluste als solche darstellen lassen.

In vorstehender Figur 129 seien A und B zwei Stromzuführungspunkte eines Leiters, dessen Länge L, dessen Querschnitt Q und dessen Material von einer Leitungsfähigkeit K sei.

Auf der ganzen Länge des Leiters finde gleichmässige Stromabgabe statt, welche in Summa J betrage und durch die Strecke A b dargestellt sei.

Die auf eine Strecke l des Leiters entfallende Stromabgabe beträgt i und wurde gefunden, indem man von p aus eine Parallele zu B b gezogen hat, wodurch die Linie pp' und dadurch der Punkt p' auf der Stromlinie A b, also auch die auf die Länge l entfallende Stromabgabe i erhalten wurde.

Nachdem auf der ganzen Länge gleichmässig Stromabgabe stattfindet, und von zwei Seiten gegen die Mitte zu Strom geführt wird, muss der Scheitel der gesuchten Parabel über der Mitte s der Leiterlänge zu suchen sein, sowie auch der Polpunkt C normal über dem ent-

sprechenden Punkte s_1 der Stromlinie A b durch Auftragen der Poldistanz H = Q K zu konstruieren ist.

Die Punkte A und B sind offenbar zwei Punkte der Parabel und die zu den Polstrahlen A C, resp. b C parallel gezogenen Geraden A Z und B Z Tangenten in diesen Punkten.

Mit Hilfe dieser Tangenten lassen sich nun nach einem bekannten Verfahren weitere Punkte der Parabel konstruieren, indem man A Z und B Z in mehrere, z. B. fünf gleiche Teile teilt und die erhaltenen Teilpunkte in umgekehrter Reihenfolge miteinander verbindet, also 1 mit 4′, 2 mit 3′, 3 mit 2′ und 4 mit 1′.

Man erhält dadurch weitere Tangenten an der gesuchten Parabel und kann die Tangierungspunkte derselben finden, indem man die zwischen den beiden benachbarten Tangenten liegenden Abschnitte derselben halbiert.

Auf diese Weise wurden die Punkte I, II, III und IV, und durch entsprechende Verbindung derselben die gesuchte Parabel selbst erhalten.

Verbindet man einen beliebigen Punkt P der Parabel mit dem Ausgangspunkte A und zieht vom Polpunkte C des Stromdreieckes eine Parallele zu A P nämlich C α', so ergiebt sich der merkwürdige Umstand, dass diese Parallele die auf die Leiterlänge l (A p) entfallende Stromstrecke i = A p′ halbiert, indem α' A = α' p′ ist.

Damit hängt zusammen, dass der Punkt P (II) in die Mitte zwischen 4 und p″ fällt, d. i. in die Mitte

zwischen jenen Punkt 4, welcher erhalten worden wäre, wenn aller Strom bis p Fortleitung gefunden hätte, und jenen Punkt p", welcher sich ergeben hätte, wenn i schon in A abgeleitet und nur $\frac{J}{2} - i = p's'$ bis p abgeleitet worden wäre.

Da sich dieses Zusammentreffen ganz allgemein nachweisen lässt, kann man daraus folgende Regel ableiten:

Findet auf einem Leiterstücke eine über die ganze Länge desselben gleichmässig verteilte Stromabgabe statt, so sind die dadurch in den einzelnen Punkten auftretenden Spannungsverluste halb so gross, als ob der ganze in dem ins Auge gefassten Stück abgegebene Strom bis zu dem betreffenden Punkte Fortleitung gefunden hätte.

Man hätte in obiger Regel auch sagen können: Die Spannungsverluste sind eben so gross, als ob die ganze Stromstärke bis auf halben Weg oder die halbe Stromstärke bis auf ganzen Weg fortgeleitet worden wäre, was auf dasselbe hinausläuft.

Mit Hilfe dieser Regel ist es möglich, manche scheinbar recht komplizierte praktische Fälle näherungsweise schnell zu lösen.

Als ein Beispiel sei im Nachfolgenden das Leitungsnetz einer Zentralstation mit radialen Hauptleitungen und den dieselben verbindenden

Verteilungsleitungen berechnet und untersucht; wobei Verhältnisse zu Grunde gelegt seien, welche der Wirklichkeit entsprechen.

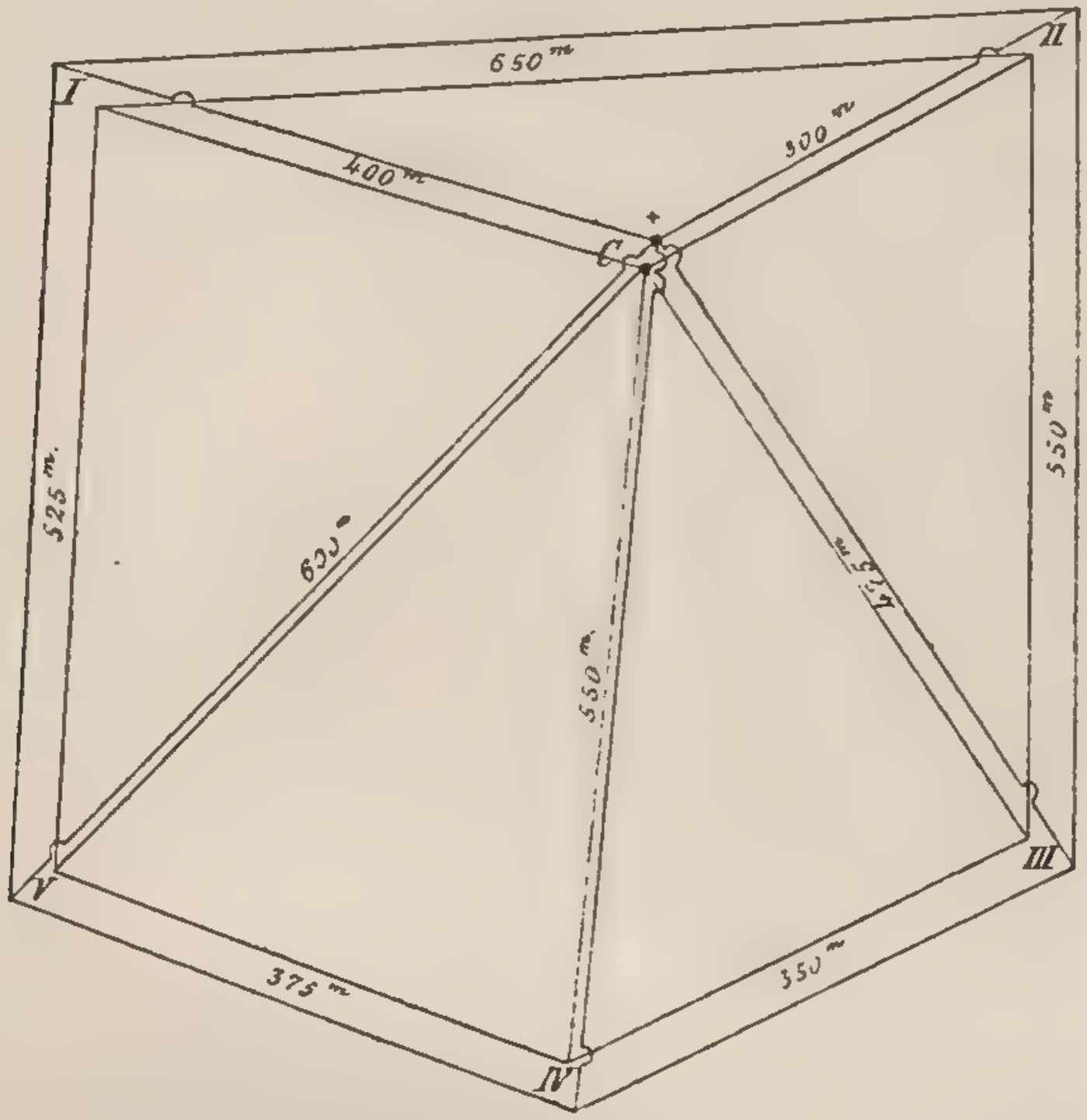


Fig. 130.

Von der Zentralstation C, siehe Fig. 130, seien nach fünf Punkten I bis V den sogenannten Verteilungspunkten je zwei Hauptleitungsstränge radial geführt und sind die gleichpoligen Enden derselben untereinander durch die sogenannten Verteilungsleitungen verbunden, an welche direkt die Ableitungen an die Häuser angeschlossen werden.

Durch Einschalten von Widerstand in die Hauptleitungsstränge, sowie durch Regulieren der Polspannung

der Stromquelle wird die Spannung an den Verteilungspunkten I bis V stets konstant, z. B. auf 120 Volt erhalten. Die Spannung an der Stromquelle, in der Zentralstation, muss dann um den Verlust in den Hauptleitungen höher sein als die Spannung in den Verteilungskästen. Wie gross dieser Verlust gewählt werden darf, ist nach der Rentabilitätsformel zu bestimmen.

Da der „rentable Spannungsverlust“ für alle Leitungen gleich gross werden muss, kann nur von einem mittleren Spannungsverlust gesprochen werden, welcher sich auf die mittlere Länge der Hauptleitungen bezieht, wenn die übrigen Faktoren, wie anzunehmen, gemeinschaftlich sind.

Es ist also aus der Formel $\delta E_r\,(\text{mittel}) = \frac{\sqrt{7{,}36}}{c_b\, c_k \sqrt{T}} \times \frac{L\,(\text{mittel})}{\sqrt{K}}$ der zulässige Spannungsverlust in den Hauptleitungen zu berechnen.

Nehmen wir an, es würde im Durchschnitte täglich während drei Stunden der volle Energieverlust zur Überwindung der Widerstände der Hauptleitungen aufzuwenden sein, so stellt sich T auf $3 \times 365 = 1095$ Stunden pro Jahr. Rechnen wir ferner den Preis der Pferdekraftstunde mit 0,02 fl. ö. W. und setzen wir die Amortisation und Verzinsung der Kabel mit $5 + 3 = 8\%$ fest, während die Kabelkonstante $c_k = 6{,}48$ angenommen werden kann, indem sich für die in Betracht zu ziehenden eisenarmierten Bleikabel a auf 1:42, also $c_k = \sqrt{1:a} = 6{,}48$ stellen dürfte, so erhalten wir für die aus der

Skizze zu entnehmende mittlere Länge der Hauptleitungsstränge von $(600 + 550 + 300 + 475 + 400) : 5 = 465$ m einen rentablen Spannungsverlust für jeden Hauptleitungsstrang von δE_r (mittel) = 15 Volt, oder für jeden Verteilungskasten von $2\,\delta E_r$ (mittel) = 30 Volt, wobei die spez. Leitungsfähigkeit $K = 57$ angenommen wurde.

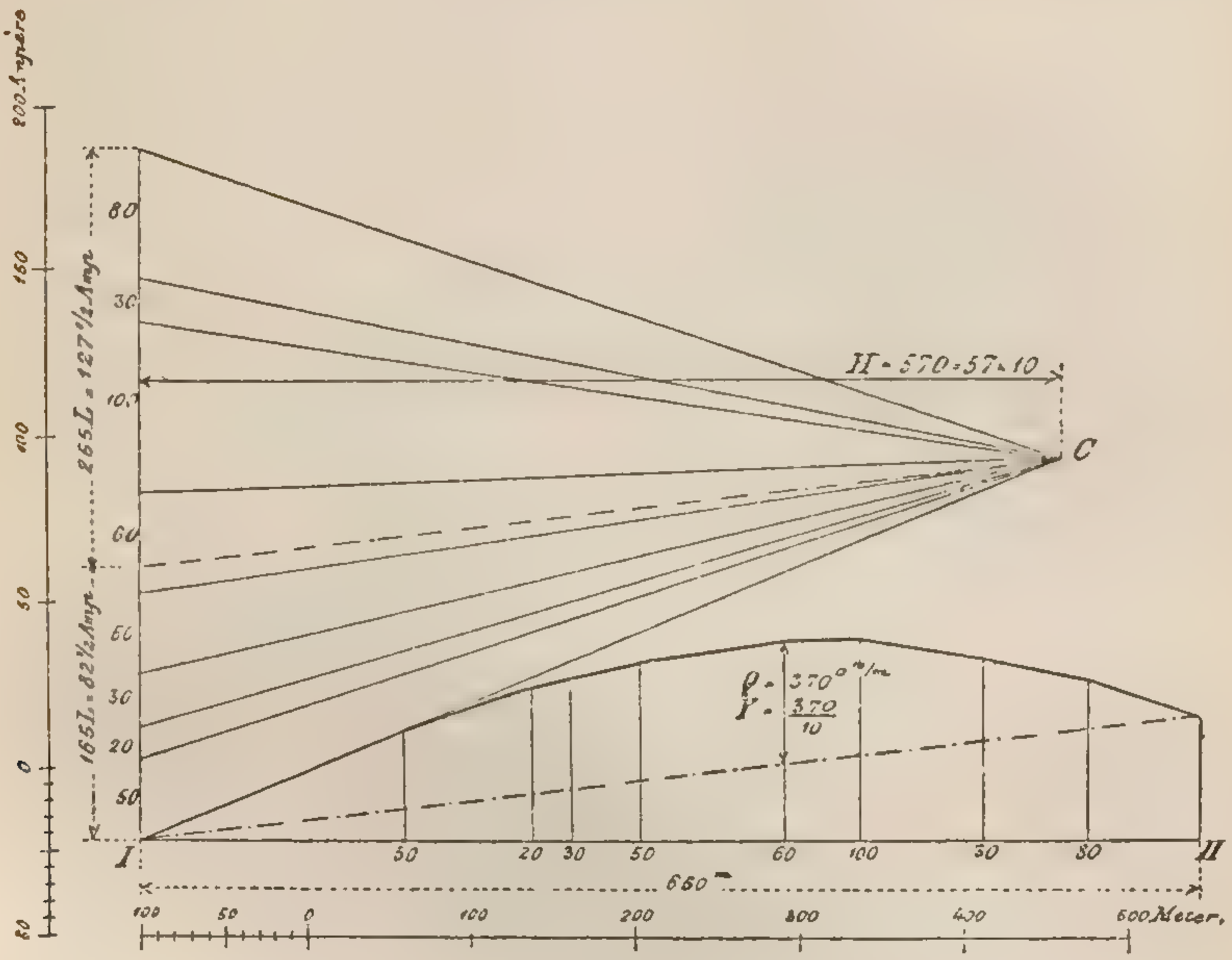


Fig. 131.

Um aus diesem Spannungsverluste die demselben entsprechenden Querschnitte zu berechnen, ist es notwendig, vorerst die sie durchfliessenden maximalen Stromstärken zu kennen. Dieselben lassen sich jedoch erst nach Berechnung der Verteilungsleitungen angeben, wofür

sich die graphische Methode empfiehlt. Die Dimensionierung der Verteilungsleitungen hat unter der Bedingung zu geschehen, dass die Spannungen an zwei Punkten derselben nie bedeutend, z. B. nur um zwei Volt differieren dürfen, damit die Leuchtkraft der Glühlampen überall und jederzeit ziemlich gleich bleibt.

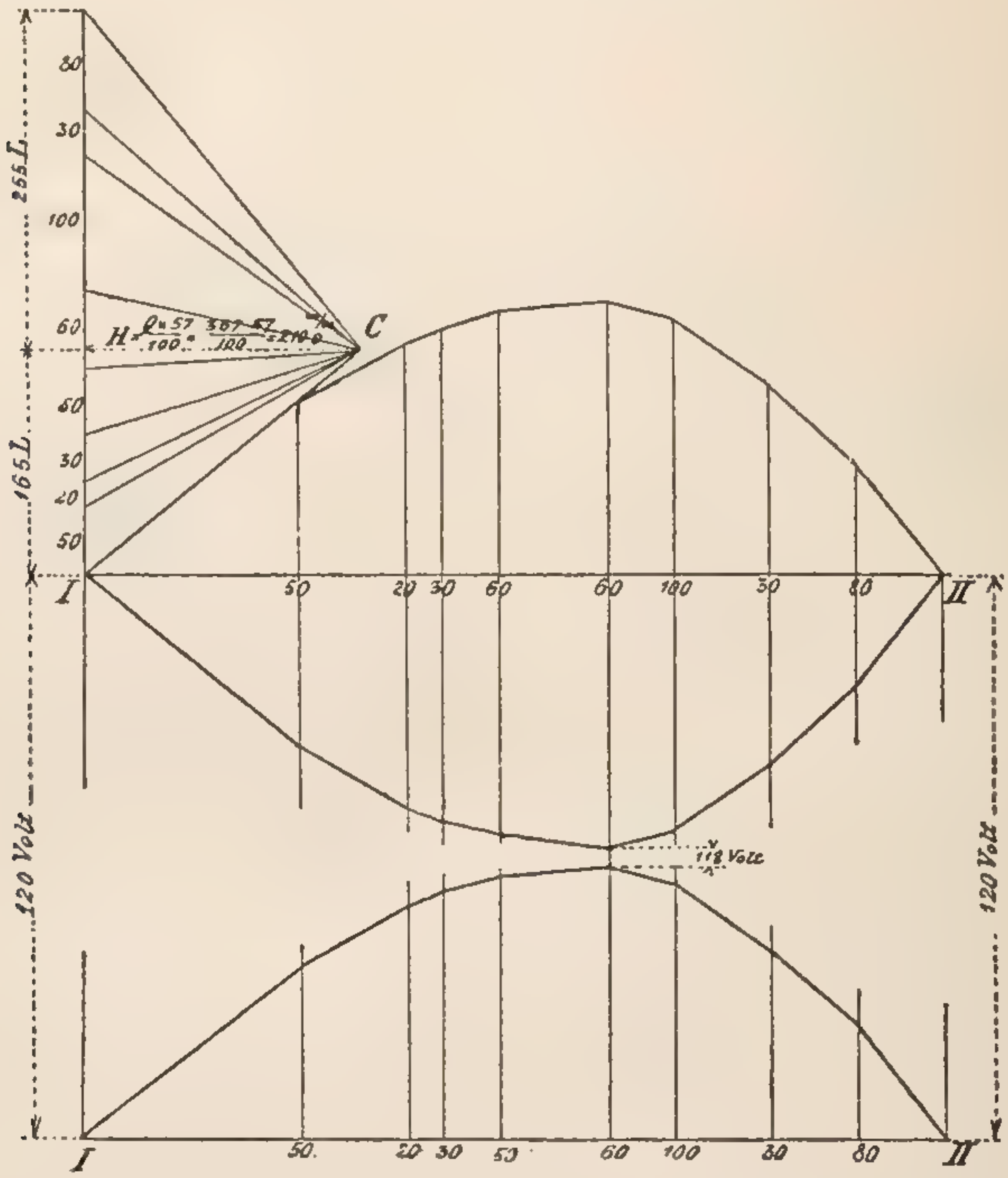


Fig. 132.

Da sich obige zwei Volt auf beide Leitungsstränge gleich verteilen, indem für jeden derselben die gleichen Bedingungen herrschen, so entfällt auf jeden der maximale Spannungsverlust von einem Volt. Nimmt man ferner an, dass beide Stränge gleichmässigen Querschnitt

besitzen, so ist die graphische Untersuchung eines solchen Verteilungsstranges leicht durchzuführen. Man wählt die Poldistanz $H = 57$ oder ein Vielfaches davon und erhält dann, in den Ordinaten des Seilpolygons das Produkt $Q\,\delta\,E$ oder für $\delta\,E = 1$ angenommen, direkt den Querschnitt Q.

In vorstehender Fig. 131 ist beispielsweise der eine Strang der Verteilungsleitung von I nach II graphisch untersucht worden, und waren dabei die in der Zeichnung eingetragenen Glühlampen von 120 Volt und 16 Normalkerzen (0,5 Ampère) als brennend angenommen.

Die Poldistanz wurde $57 \times 10 = 570$ gewählt, was zur Folge hat, dass die Ordinaten des Seilpolygons 1 : 10mal zu klein ausfallen, nämlich $Y = Q : 10$.

Was für den einen Strang gilt, gilt auch für den zweiten, so dass das Bild der in den Verteilungsleitungen auftretenden Spannungsverluste beiläufig wie in Fig. 132 dargestellt aussieht. Die in den Verteilungsleitungen bei maximalem Betriebe wirklich herrschenden Spannungen sind in dieser Figur unterhalb dargestellt.

Man sieht, wie die Spannung in den Verteilungspunkten gegen die Mitte der Verteilungsleitungen zu allmählich abnimmt, wenn wirklich Stromabnahme stattfindet, dass sie aber, wenn keine Stromabnahme stattfindet, durchweg 120 Volt beträgt, sodass unter der Voraussetzung, dass in den Verteilungspunkten 120 Volt konstant erhalten werden und die in den Verteilungsleitungen auftretenden maximalen Spannungsverluste

zwei Volt betragen, die Spannungen an den Lampen zu gleicher, zu verschiedener Zeit um höchstens zwei Volt variieren können. —

Recht zweckmässig und den Verhältnissen der Praxis Rechnung tragend erscheint uns auch eine Methode, welche **Fritsche** für sein Ringsystem anwendet.[1])

Um festzustellen, welche Stromstärken und Spannungen in den einzelnen Teilen seines geschlossenen Leitungsnetzes auftreten, schlägt derselbe folgenden Rechnungsgang vor: Fig. 133 stellt schematisch die Stromverteilung dar, die eingeschriebenen Bezeichnungen bedeuten Folgendes: Der innere Ring stellt die positive, der äussere die negative Leitung, wie bereits erwähnt, dar. Beim positiven Strang sind die Anschlusspunkte: $E_I \ldots E_{VI}$ durch volle schwarze Kreise markiert, bei dem negativen Strang die Punkte $E'_I \ldots E'_{VI}$ durch helle Kreise. $\mathfrak{E}_m$ bezw. $\mathfrak{E}_o$, ebenfalls durch einen vollen und einen hellen Kreis markiert, bedeuten die Vereinigungspunkte der positiven bezw. negativen Hauptzuleitungen, von welchen aus der Anschluss an die Hauptschienen des Schaltbrettes im Maschinenhause erfolgt. Die Verbindung der sechs Punkte $E_I \ldots$ bezw. $E'_I \ldots$ mit $\mathfrak{E}_m$ bezw. $\mathfrak{E}_o$ durch Hauptzuleitungen giebt das geschlossene Ringsystem oder Leitungsnetz.

Die Stromabnahmestellen sind mit den Buchstaben $\mathfrak{E}_1 \ldots \mathfrak{E}_6$ bezw. auf dem negativen Strang mit $\mathfrak{E}'_1 \ldots \mathfrak{E}'_6$ bezeichnet, und zwar sind die hier abgenommenen Strom-

[1]) Nach Zentralblatt f. E. 1887. p. 618.

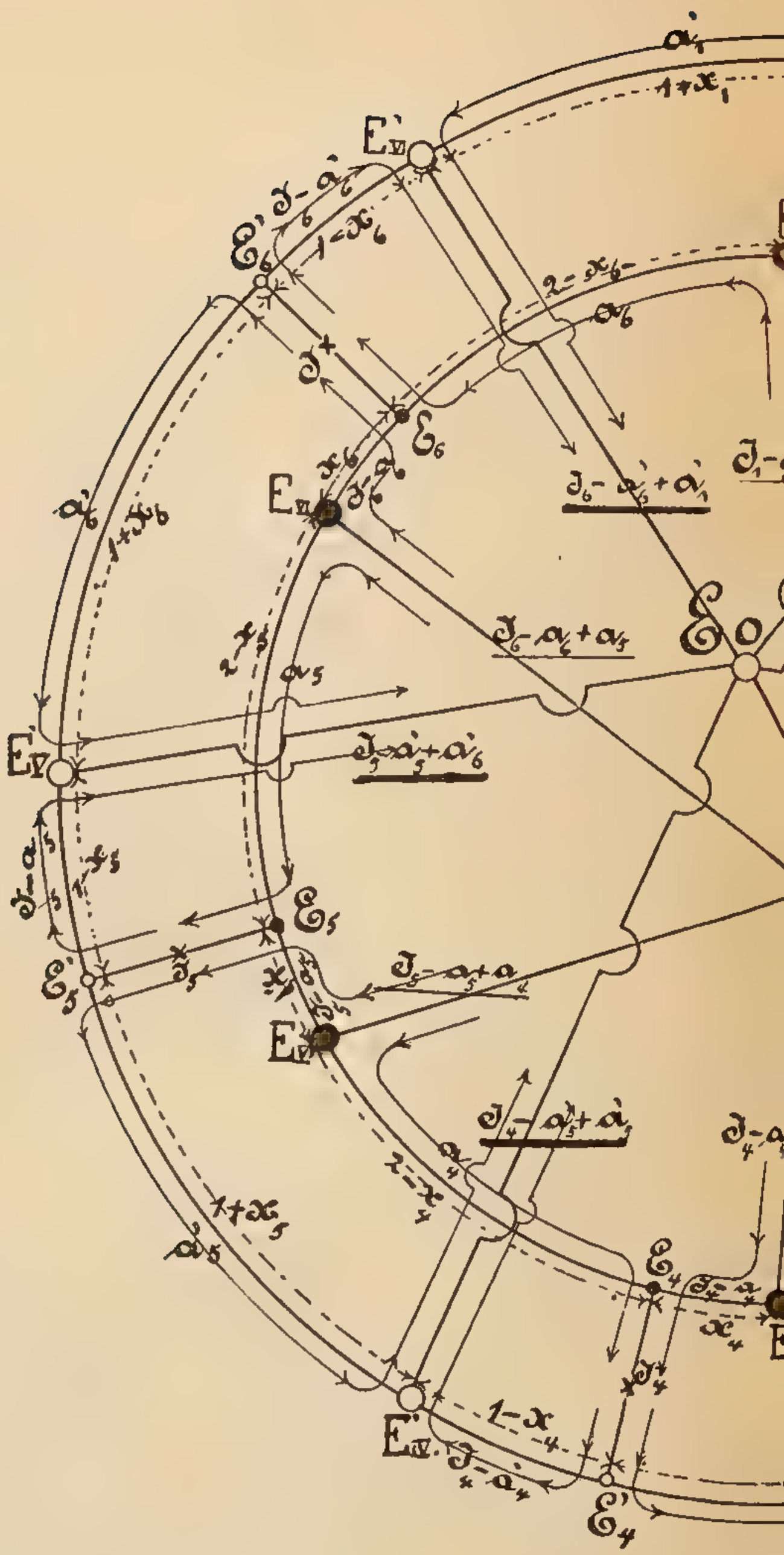
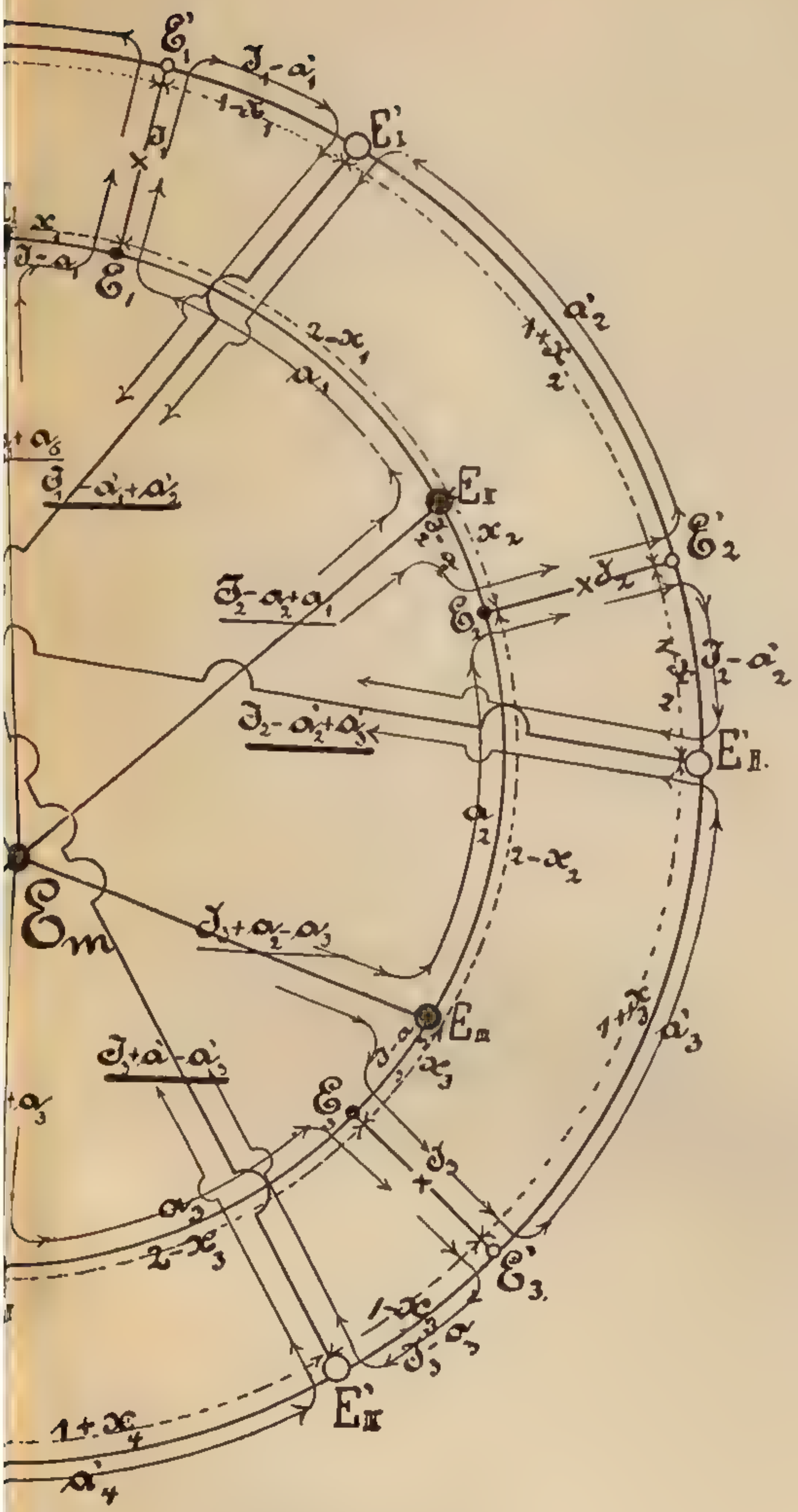


Fig. 133. (Gehört



(Zu dem Text auf Seite 350.)

stärken J_1, $J_2 \ldots J_6$. Die Hauptzuleitungen, sowohl die positiven als die negativen, haben alle gleichen Widerstand, den wir mit R bezeichnen wollen. Die Strecken in der Ringleitung zwischen den positiven und negativen Anschlusspunkten haben ebenfalls alle gleichen Widerstand und soll dieser durch $r = \gamma R$ bezeichnet werden. Die Buchstaben E bezw. $\mathfrak{E}$ bezeichnen die an den betreffenden Punkten herrschenden absoluten Spannungen; die Buchstaben J die Verbrauchsströme, während für die Teilströme in den einzelnen Zuleitungen sowohl im Ring als in den Hauptzuleitungen die Buchstaben a bezw. a′ gewählt sind. Die Buchstaben x mit den Indices bezeichnen die Entfernungen von den Anschlusspunkten, in welchen die Stromabnahme erfolgt. Nach dem Schema fliesst von $\mathfrak{E}_m$ in der Hauptzuleitung I nach E_I der Strom: $J_1 - a_1 + a_6$ und in den übrigen entsprechend (vergl. die Figur). In der Ringleitung fliesst von E_1 nach $\mathfrak{E}_1$ der Strom: $J_1 - a_1$, vom zweiten Anschlusspunkt E_{II} bis zu $\mathfrak{E}_1$ der Strom a_1; von Punkt $\mathfrak{E}_1$ durch die Lampen nach dem negativen Strang fliesst der Gesamtverbrauchsstrom J_1, der sich, wie die Figur zeigt, in dem negativen Strang der Ringleitung sowohl als der negativen Hauptzuleitung verteilt. Der Widerstand in der Ringleitung wird für die verschiedenen Ströme durch die Buchstaben x . . . bezw. die Differenzen oder Summen $1 - x$, $2 - x \ldots$ oder $1 + x \ldots$ bezeichnet. Bei den gewählten Bezeichnungen ergeben sich sehr einfache Resultate, die leicht eine Verallgemeinerung der Formel zulassen. Der

Spannungsabfall von der positiven Schiene des Schaltbrettes bezw. von $\mathfrak{E}_m$ bis zum Entnahmepunkt $\mathfrak{E}_1$ des Stromes J_1 in der Ringleitung ergiebt sich zu:

$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_1 = R(J_1 - a_1 + a_6) + (J_1 - a_1)x_1\gamma R.$$

Wir betrachten vorerst nur den positiven Teil des Systems, sodass wir ferner noch, wenn wir von $\mathfrak{E}_m$ über E_{II} rechnen, erhalten:

$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_1 = R(J_2 + a_1 - a_2) + a_1(2 - x_1)\gamma R.$$

Für die übrigen Spannungsabfälle erhalten wir je zwei entsprechende Gleichungen.

$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_2 = R(J_2 + a_1 - a_2) + (J_2 - a_2)x_2\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_2 = R(J_3 + a_2 - a_3) + a_2(2 - x_2)\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_3 = R(J_3 + a_2 - a_3) + (J_3 - a_3)x_3\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_3 = R(J_4 + a_3 - a_4) + a_3(2 - x_3)\gamma R$$

. . . . . .

Aus je zwei Gleichungen erhalten wir eine Gruppe I von sechs Gleichungen:

$$\left.\begin{array}{lll} J_1(1+\gamma x_1) - J_2 = a_1(2+2\gamma) - a_2 - a_6 & \text{dafür} & A_1 = a_1\lambda - a_2 - a_6 \\ J_2(1+\gamma x_2) - J_3 = a_2(2+2\gamma) - a_1 - a_3 & \text{,,} & A_2 = a_2\lambda - a_1 - a_3 \\ J_3(1+\gamma x_3) - J_4 = a_3(2+2\gamma) - a_2 - a_4 & \text{,,} & A_3 = a_3\lambda - a_2 - a_4 \end{array}\right\} \text{I.}$$

. . . . . .

Betrachten wir nun den negativen Teil des Leitungssystems, für den die entsprechenden Buchstaben mit oberem Index (′) gewählt sind, so erhalten wir gleichgebaute Gleichungen wie nachstehend:

$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_1 = R(J_1 - a'_1 + a'_2) + (J_1 - a'_1)(1 - x_1)\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_1 = R(J_6 - a'_6 + a'_1) + a'_1(1 + x_1)\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_2 = R(J_2 - a'_2 + a'_3) + (J_2 - a'_2)(1 - x_2)\gamma R$$

$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_2 = R(J_1 - a'_1 + a'_2) + a'_2(1 + x_2)\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_3 = R(J_3 - a'_3 + a'_4) + (J_3 - a'_3)(1 - x_3)\gamma R$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_3 = R(J_2 - a'_2 + a'_3) + a'_3(1 + x_3)\gamma R$$

. . . . . .

Die zwölf Gleichungen ergeben wiederum eine Gruppe II von sechs Gleichungen:

$$\left.\begin{array}{l} J_1[1+(1-x_1)\gamma] - J_6 = a'_1(2+2\gamma) - a'_6 - a'_2 \text{ dafür } A'_1 = a'_1\lambda - a'_6 - a'_2 \\ J_2[1+(1-x_2)\gamma] - J_1 = a'_2(2+2\gamma) - a'_1 - a'_3 \quad „ \quad A'_2 = a'_2\lambda - a'_1 - a'_3 \\ J_3[1+(1-x_3)\gamma] - J_2 = a'_3(2+2\gamma) - a'_4 - a'_2 \quad „ \quad A'_3 = a'_3\lambda - a'_4 - a'_2 \end{array}\right\} \text{II.}$$

. . . . . .

Ehe wir dazu übergehen, die Lösung der sechs Gleichungen mit den sechs unbekannten Stromstärken $a_1 \ldots$ bezw. $a'_1 \ldots$ anzugeben, wollen wir zeigen, wie gross die Maschinenspannung, welche dem augenblicklichen Stromkonsum entspricht, ist und wie die mittlere Spannung [1]) rechnerisch ermittelt werden kann.

Die Maschinenspannung wird stets gleich der an den Anschlusspunkten herrschenden Spannung plus dem Spannungsverlust in den Hauptzuleitungen sein. Eine exakte Formel für die mittlere Spannung an den Entnahmestellen ergiebt sich wie folgt:

Aus dem Vorhergehenden lassen sich folgende Kurvengleichungen zusammenstellen:

[1]) Es ist zwischen der mittleren Spannung an den Entnahmestellen $\mathfrak{E}_1 \ldots$, welche mit $\mathfrak{E}_\mu \ldots$ bezeichnet wird und derjenigen an den Anschlusspunkten $E_1 \ldots$ zu unterscheiden; während letztere stets auf 100 Volt erhalten wird, ist erstere je nach dem Stromkonsum verschieden.

$$\mathfrak{E}_1 + \mathfrak{E}_2 + \mathfrak{E}_3 + \mathfrak{E}_4 + \mathfrak{E}_5 + \mathfrak{E}_6 = 6\mathfrak{E}_m - R(J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 + J_6)$$
$$- R\gamma[(J_1 x_1 + J_2 x_2 + J_3 x_3 + J_4 x_4 + J_5 . x_5 + J_6 x_6)$$
$$- (a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 . x_4 + a_5 x_5 + a_6 x_6)]$$

und

$$\mathfrak{E}_1 + \mathfrak{E}_2 + \mathfrak{E}_3 + \mathfrak{E}_4 + \mathfrak{E}_5 + \mathfrak{E}_6 = 6\mathfrak{E}_m - R(J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 + J_6)$$
$$- R\gamma[2(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6) -$$
$$(a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 + a_5 x_5 + a_6 x_6)].$$

Beide Summen addiert geben die Gleichung:

$$2(\mathfrak{E}_1 \ldots \mathfrak{E}_6) = 2.6\mathfrak{E}_m - 2R(J_1 \ldots J_6) - R\gamma(J_1 x_1 \ldots J_6 x_6)$$
$$- 2R\gamma(a_1 \ldots a_6).$$

Da nun durch Addition sämtlicher sechs Gleichungen der Gruppe I gefunden wird, dass:

$$J_1 x_1 + J_2 x_2 + J_3 x_3 + J_4 x_4 + J_5 x_5 + J_6 x_6 =$$
$$= 2(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6),$$

so erhalten wir unter Berücksichtigung dieser Beziehung:

$$(\mathfrak{E}_1 + \ldots + \mathfrak{E}_6) = 6\mathfrak{E}_m - R(J_1 + \ldots + J_6)$$
$$- 2R\gamma(a_1 + \ldots + a_6).$$

Analog erhalten wir unter Benutzung nachstehender Beziehung, welche die Addition der Gleichungen von Gruppe II ergiebt:

$$(J_1 + \ldots J_6) - (J_1 x_1 + \ldots + J_6 x_6) = 2(a'_1 + \ldots + a'_6)$$

die Gleichung:

$$(\mathfrak{E}'_1 + \ldots + \mathfrak{E}'_6) = 6\mathfrak{E}_0 - R(J_1 + \ldots + J_6)$$
$$- 2R\gamma(a'_1 + \ldots + a'_6).$$

Die Substration beider Gleichungen ergiebt:

$$\frac{(\mathfrak{E}_1 - \mathfrak{E}'_1) + \ldots + (\mathfrak{E}_6 - \mathfrak{E}'_6)}{6} = \mathfrak{E}_m - 2R\frac{(J_1 + \ldots + J_6)}{6}$$

$$-2R\gamma\frac{(a_1+\ldots+a_6)}{6}-2R\gamma\frac{(a'_1+\ldots+a'_6)}{6},$$

wenn wir $\mathfrak{E}_0$ gleich Null setzen. Bezeichnen wir nun die mittlere Spannung:

$$\frac{(\mathfrak{E}_1-\mathfrak{E}'_1)+\ldots(\mathfrak{E}_6-\mathfrak{E}'_6)}{6}$$

mit $\mathfrak{E}_u$ und berücksichtigen, dass $\mathfrak{E}_m = 100 + 2R\Sigma\frac{J}{6}$ ist, dass also $\mathfrak{E}_m - 2R\frac{(J_1+\ldots+J_6)}{6}$ auf den Wert 100 erhalten wird, so haben wir endlich in der folgenden Gleichung die definitive Formel für die mittlere Spannung $\mathfrak{E}_u$:

$$\mathfrak{E}_u = 100 - 2R\gamma\frac{\Sigma(a)}{6} - 2R\gamma\frac{\Sigma(a')}{6}.$$

Die Lösung für die oben gefundenen sechs Gleichungen der Gruppen I und II, welch letztere im Bau konform sind, lautet, wie nachstehend, für die Stromstärke a_1:

$$a_1 = \frac{2A_4+(A_2+A_6)(\lambda^2-2)+\lambda(A_3+A_5)+(\lambda^3-3\lambda)A_1}{\lambda^4-5\lambda^2+4}.$$

Der Nenner ist für alle a gleich, im Zähler werden die Koeffizienten der Grössen A verstellt.

Für ein Ringsystem mit einer ungeraden Zahl $2n+1$ Hauptzuleitungen lassen sich die $2n+1$ Gleichungen wie folgt lösen:

$$c_0 a_0 = C_n A_n + C_{n-1} A_{n-1} + \ldots + C_1 A_1 + C_0 A_0 + \\ + C_1 A'_1 + C_2 A'_2 + \ldots C_{n-1} A'_{n-1} + C_n A'_n,$$

worin $c_0 = \lambda C_0 - 2 C_1$ der gemeinschaftliche Nenner ist.

Die Koeffizienten C werden wie folgt ermittelt:

$$C_n = 1,\ C_{n-1} = \lambda C_n - C_n,\ C_{n-2} = \lambda C_{n-1} - C_n,\ C_{n-3} =$$

$$= C_{n-2} - C_{n-1} - C_n,\ C_{n-4} = \lambda C_{n-3} - C_{n-2} - \ldots$$

Die Lösung für ein Ringsystem mit einer geraden Anzahl 2n Hauptzuleitungen lautet:

$$c_0 a_0 = \frac{C_n}{2} A_n + C_{n-1} A_{n-1} + \ldots C_1 A_1 + C_0 A_0 +$$

$$+ C_1 A'_1 + \ldots C_{n-1} A'_{n-1} + \frac{C_n}{2} A'_n ;$$

wobei $c_0 = \lambda C_0 - 2 C_1$, $C_n = 2$, $C_{n-1} = \lambda C_n - C_n$, $C_{n-2} =$

$= \lambda C_{n-1} - C_n$, $C_{n-3} = \lambda C_{n-2} - C_{n-1}$, $C_{n-4} = \lambda C_{n-3} - C_{n-2} - \ldots$

Zum Schluss der theoretischen Betrachtungen wollen wir zeigen, dass bei einem, beispielsweise angenommenen sehr extremen Fall die grössere Anzahl Lampen in dem einen Teile des Netzes mit wenig niedrigerer Spannung und die kleine Anzahl mit wenig höherer Spannung als die mittlere brennt.

Beispiel. Das Leitungsnetz ist für eine Maximalstromstärke von 2400 A zu berechnen. Wir nehmen eine solche Entfernung der Maschinenstation von den Verbrauchsstellen an, dass sich ein Verlust von je 20 Volt für die Hin- und Rückleitung zum Ring, also in den Hauptzuleitungen nötig macht. Ein so hoher Verlust kommt in Wirklichkeit selten vor, 6, 7,5—10, höchstens 15 Volt für je einen Strang sind die häufigst vorkommenden Verluste.

Von den 2400 A führt jede Hauptzuleitung den sechsten Teil 400 A zu. Der Widerstand berechnet sich mithin zu $R = 1:20$.

Der Widerstand der Ringleitung soll so bemessen sein, dass vom positiven Anschlusspunkt zum negativen nur 1 Volt Maximalverlust (d. h. also wenn alle Lampen brennen) auftritt, mithin, da die Stromstärke pro Segment $= 200$ A ist:

$$r = \frac{1}{200} = \gamma R = 0{,}1\,\frac{1}{20},$$

also

$$\gamma = 0{,}1.$$

Der Berechnung soll der ausserordentlich ungünstige Fall, welcher auch in Wirklichkeit kaum eintreten wird, unterzogen werden, dass an einer Stelle im Segment I ein Stromkonsum von 200 A auftritt und im Segment IV der Verbrauchsstrom nur 1 A beträgt. Also $J_1 = 200$, $J_4 = 1$, in allen übrigen Segmenten soll keine Stromentnahme stattfinden. Für die Entfernungen der Entnahmestellen sind die Werte von x_1 und x_4 in nachstehender übersichtlicher Zusammenstellung, welche die Rechnung sehr erleichtert, gegeben:

$R = \frac{1}{20}$	$x_1 = 0{,}3,\ \gamma x_1 = 0{,}03$	$J_1 = 200$	$A_1 = 200 \times 1{,}03 = 206$
	$1 + \gamma x_1 = 1{,}03$	$J_2 = 0$	$A_2 = 0$
$\gamma = 0{,}1$		$J_3 = 0$	$A_3 = -1$
$\gamma R = \frac{1}{200}$	$x_4 = 0{,}2,\ \gamma x_4 = 0{,}02$	$J_4 = 1$	$A_4 = 1{,}02$
	$1 + \gamma x_4 = 1{,}02$	$J_5 = 0$	$A_5 = 0$
		$J_6 = 0$	$A_6 = -200$

$\lambda = 2 + 2 \times 0{,}1 = 2{,}2$ $\qquad 4 + \lambda^4 - 5\,\lambda^2 = 3{,}2256.$

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
$A_1 = 206$	833,888	585,04	453,2	412	453,2	— 585,04
$A_2 = 0$	—	—	—	—	—	—
$A_3 = -1$	— 2,2	— 2,84	— 4,048	— 2,84	— 2,2	— 2
$A_4 = +1{,}02$	2,04	2,244	2,8968	4,1289	2,8968	2,244
$A_5 = 0$	—	—	—	—	—	—
$A_6 = -200$	— 568	— 440	— 400	—440	—568	— 809,6
$\Sigma(A_1 \ldots A_6)$	265,728	144,444	52,0488	— 26,71104	—114,1032	— 224,316
$\Sigma\frac{(A_1 \ldots A_6)}{4+\lambda^4-5\lambda^2}$	82,381	44,78	16,136	— 8,343	— 35,374	— 69,542

In gleicher Weise erhalten wir die Stromstärken a'_1 etc.

$1 - x_1 = 0{,}7$ $\quad J_1 = 200$ $\quad A'_1 = 200 \times 1{,}07 = 214$

$1 + (1 - x_1)\gamma = 1{,}07$ $\quad J_2 = 0$ $\quad A'_2 = -200$

$J_3 = 0$ $\quad A'_3 = 0$

$1 - x_4 = 0{,}8$ $\quad J_4 = 1$ $\quad A'_4 = 1{,}08$

$1 + (1 - x_4)\gamma = 1{,}08$ $\quad J_5 = 0$ $\quad A'_5 = -1$

$J_6 = 0$ $\quad A'_6 = 0$

	a'_1	a'_2	a'_3	a'_4	a'_5	a'_6
$A'_1 = 214$	866,272	607,76	407,8	428	470,8	607,76
$A'_2 = -200$	— 568	— 809,6	— 568	—440	—400	— 440
$A'_3 = 0$	—	—	—	—	—	—
$A'_4 = 1{,}08$	2,16	2,376	3,0672	4,37184	3,0672	2,376
$A'_5 = -1$	— 2,2	— 2	— 2,2	— 2,84	— 4,048	— 2,84
$A'_6 = 0$	—	—	—	—	—	—
$\Sigma(A'_1 \ldots A'_6)$	298,232	— 201,464	— 96,3328	— 10,4681	69,819	167,296
$\Sigma\frac{(A'_1 \ldots A'_6)}{4+\lambda^4-5\lambda^2)}$	92,458	— 62,458	— 29,865	— 3,245	21,645	51,865

Nachdem die partiellen Stromstärken ermittelt sind, können wir leicht die Differenzen $\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_1$ und $\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_4$ bezw. $\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_1$ und $\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_4$ bilden, es ergiebt sich:

$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_1 = 2{,}58025,$$
$$\mathfrak{E}_m - \mathfrak{E}_4 = 1{,}28329,$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_1 = 2{,}6305,$$
$$\mathfrak{E}_0 - \mathfrak{E}'_4 = 1{,}31148.$$

Für die mittlere Spannung $\mathfrak{E}_m$ erhalten wir nach oben aufgestellter Formel 99,832 Volt.

Berücksichtigen wir nun, dass sich die Maschinenspannung, wie oben erwähnt, wie folgt ergiebt:

$$\mathfrak{E}_m = 100 + 2R\frac{\Sigma(J)}{6},$$

so ist

$$\mathfrak{E}_m = 103{,}35,$$

mithin brennt die grössere Lampenzahl im Segment I mit der Spannung:

$$103{,}35 - (2{,}6305 + 2{,}58025) = 98{,}14 \text{ Volt.}$$

Die kleinere Lampenzahl in Segment IV brennt mit:

$$103{,}35 - (1{,}28329 + 1{,}31148) = 100{,}76 \text{ Volt.}$$

Die Abweichungen von der normalen Voltzahl betragen also 1,86 bezw. 0,76. Wir sehen also, dass selbst bei dem untersuchten abnormen Fall, welcher in Wirklichkeit gar nicht eintritt, Spannungsschwankungen von praktischer Bedeutung nicht eintreten. —

Erwähnung verdienen auch die Untersuchungen von **Baumgardt.** Derselbe wendet nicht wie **Fritsche** geschlossene, sondern offene Ausgleichsleitungen an.

Er nimmt drei Bezirke A, B, C an, die von einer Zentralstation D aus mit Licht versehen werden. Der Konsum in den drei Stationen sei verschieden und werde in normalen Verhältnissen durch die Stromstärken J_1, J_2, J_3 ausgedrückt. Trotzdem sollen die Lampen mit einer höchstens um ein Volt zu hohen oder zu niedrigen Spannung leuchten.[1])

Zu diesem Zwecke werden die gleichnamigen „Pole“ der Bezirke durch sogen. Ausgleichsleitungen miteinander verbunden und die Spannung an einer Station, hier der mittleren B, konstant gehalten (Fig. 134). Der

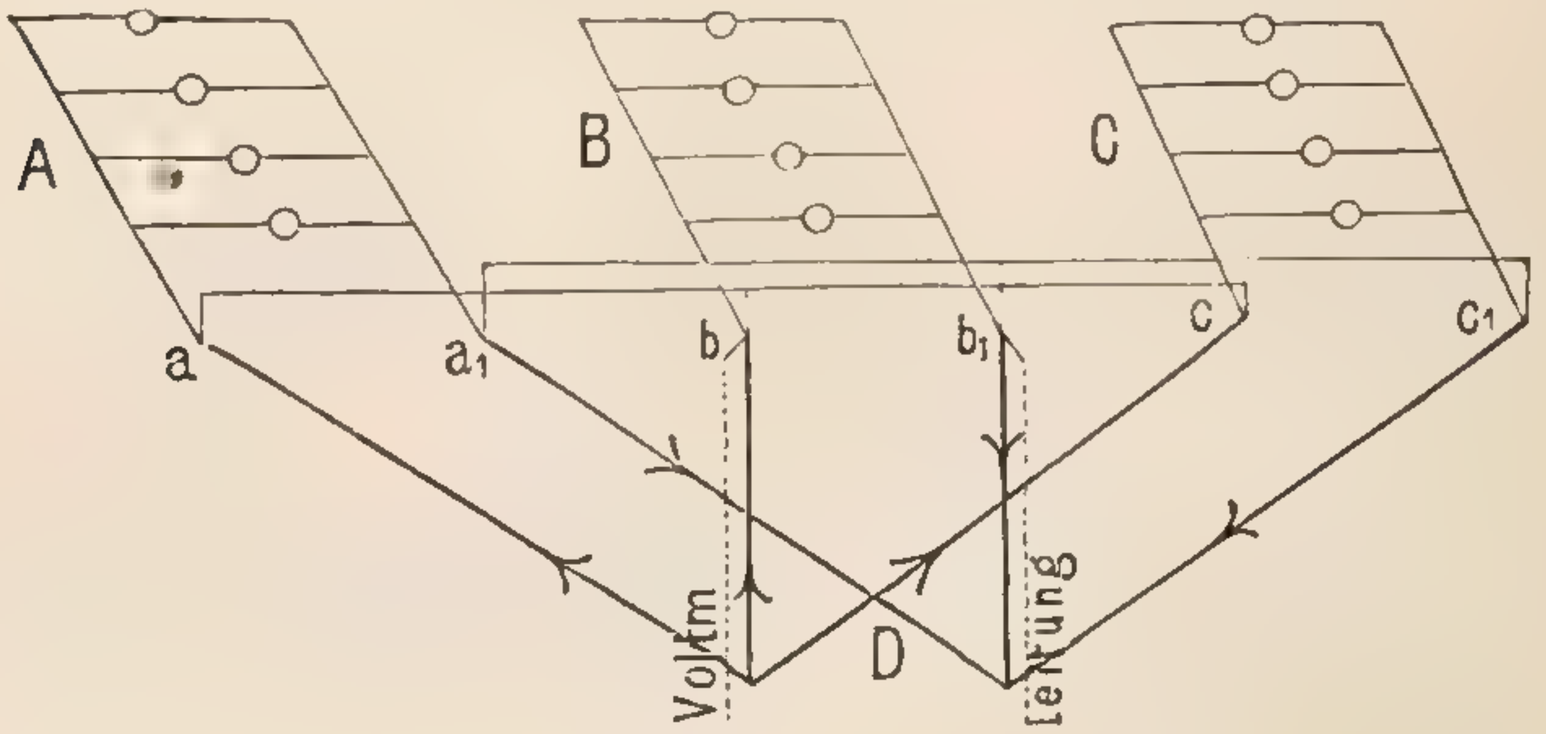


Fig. 134.

erste + Pol ist, entgegen dem früher beschriebenen Verfahren, nicht mit dem letzten + Pol verbunden.

Zunächst behandelt Baumgardt die einzelnen Hauptfälle, die ein besonderes Schwanken des Konsums bedingen, wenngleich in praxi die Verhältnisse so ungünstig nicht liegen.

---

[1]) Nach Zentralblatt f. E. 1887. 760.

I. Station A unbelastet (Fig. 135)[1]. Der Symmetrie der Anlage halber braucht man nur die eine Hälfte des Schemas zu betrachten. Das Potential (die „Spannung“) in a sei um 0,5 Volt höher als in b, dasjenige in b um 0,5 Volt höher als in c. Die Kirchhoff'schen Sätze ergeben dann:

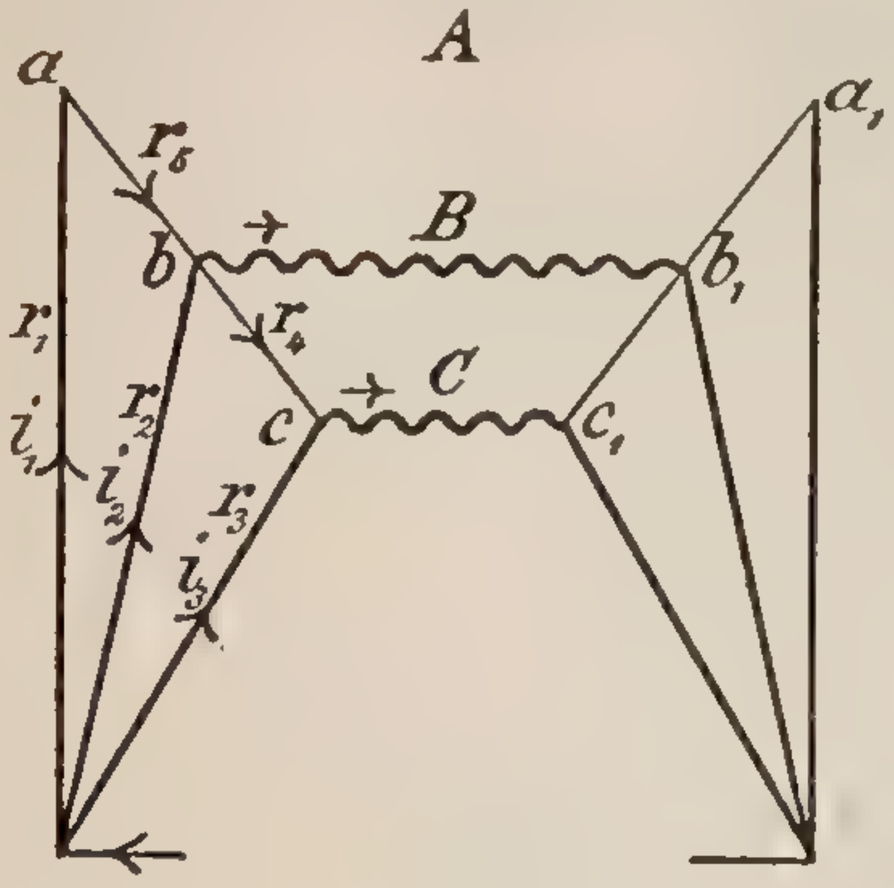


Fig. 135.

$$i_1 r_1 + 1 = i_3 r_3 \quad . \quad (1$$

$$i_2 r_2 + \tfrac{1}{2} = i_3 r_3 \quad . \quad (2$$

oder mit Rücksicht auf die festgesetzten Spannungsdifferenzen zwischen a b c

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{r_1}{r_5} + 1 = \left(0{,}99\, J_3 - \frac{1}{2 r_4}\right) r_3 \quad . \quad . \quad . \quad (1a$$

$$\left(J_2 + \frac{1}{2 r_4} - \frac{1}{2 r_5}\right) r_2 + \frac{1}{2} = \left(0{,}99\, J_3 - \frac{1}{2 r_4}\right) r_3 \quad . \quad (2a$$

Aus den letzten beiden Gleichungen ergiebt sich:

$$r_{41} = \frac{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}{2 \times 0{,}99\, J_3 r_3 (r_1 + r_2) - 2 J_2 r_2 r_1 - (r_1 + 2 r_2)} \quad (3$$

$$r_{51} = \frac{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}{2 (J_2 + 0{,}99\, J_3) r_2 r_3 - (2 r_2 + r_3)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

---

[1]) Zur Erzielung einer grösseren Übersichtlichkeit werden nunmehr die Schemata der Leitungen in Form der Fig. 135 gegeben. Die Hauptleitungen mit den Widerständen $2r_1$, $2r_2$, $2r_3$ und den Stromstärken i_1, i_2, i_3 sind stärker ausgezogen als die Ausgleichsleitungen mit den Widerständen $2r_4$, $2r_5$. Bei den voll belasteten Stationen sind die Pole durch Zickzacklinien verbunden.

Der Zähler in 3 und 4 kehrt in sämtlichen Widerstandsformeln wieder, weshalb er künftighin kurz mit Z bezeichnet werden soll. Die Dimensionen der Hauptzuleitungen seien vor der Hand als gegeben betrachtet, so dass durch die Gleichungen 3 und 4 zunächst die gesuchten Ausgleichsleitungen gegeben wären.

II. Station C unbelastet (Fig. 136). Aus der Fig. 135 und 136 geht hervor, dass dieser Fall mit dem zuerst betrachteten übereinstimmt, wenn wir für r_5, r_1, J_3 bezw. setzen r_4, r_3, J_1. Es ist also:

$$r_{42} = \frac{Z}{2\,(0{,}99\,J_1 + J_2)\,r_1\,r_2 - (2\,r_2 + r_1)} \quad \ldots \quad (5$$

$$r_{52} = \frac{Z}{2 \times 0{,}99\,J_1\,r_1\,(r_2 + r_3) - 2\,J_2\,r_2\,r_3 - (2\,r_2 + r_3)} \quad (6$$

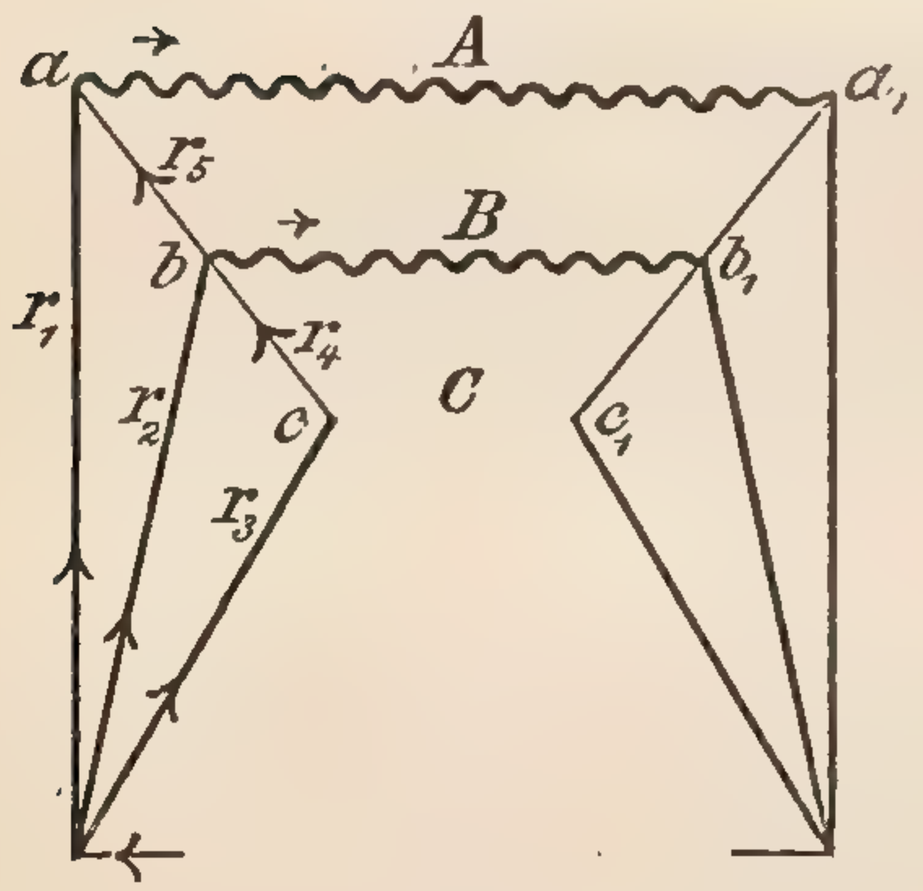


Fig. 136.

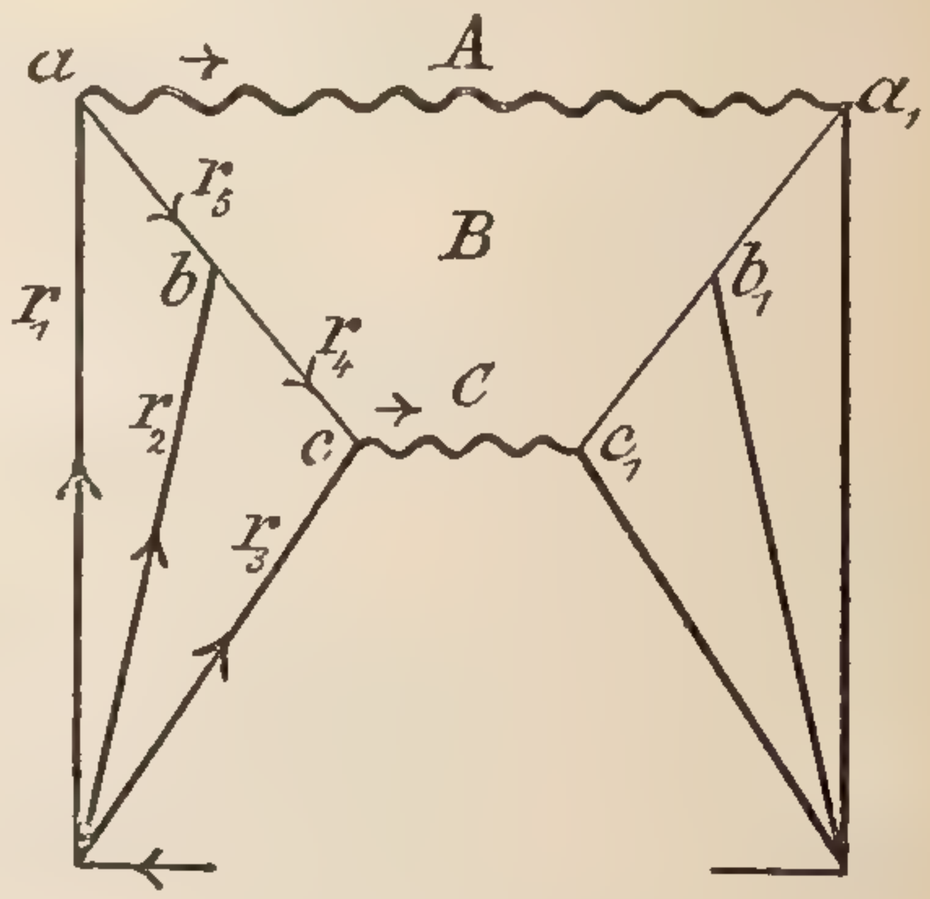


Fig. 137.

III. Station B unbelastet (Fig. 137). Man erhält zunächst wiederum die Gleichungen 1 und 2, welche wegen der Spannungsdifferenzen zwischen a b c übergehen in

$$\left(1{,}01\,J_1 + \frac{1}{2r_5}\right) r_1 + 1 = \left(0{,}99\,J_3 - \frac{1}{2r_4}\right) r_3 \quad . \quad (7$$

$$\left(\frac{1}{2r_4} - \frac{1}{2r_5}\right) r_2 + \frac{1}{2} = \left(0{,}99\,J_3 - \frac{1}{2r_4}\right) r_3 \quad . \quad . \quad (8$$

so dass

$$r_{43} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_3 r_3 (r_1 + r_2) - 2\times 1{,}01\,J_1 r_1 r_2 - (2r_2 + r_1)} \quad (9$$

$$r_{53} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_3 r_3 r_2 - 2\times 1{,}01\,J_1 r_1 (r_2 + r_3) - (2r_2 + r_3)} \quad (10$$

IV. Stationen A und B unbelastet (Fig. 138.) Die Werte von r_4 und r_5 werden erhalten, indem in 9 und 10 $J_1 = 0$ gesetzt wird, so wird

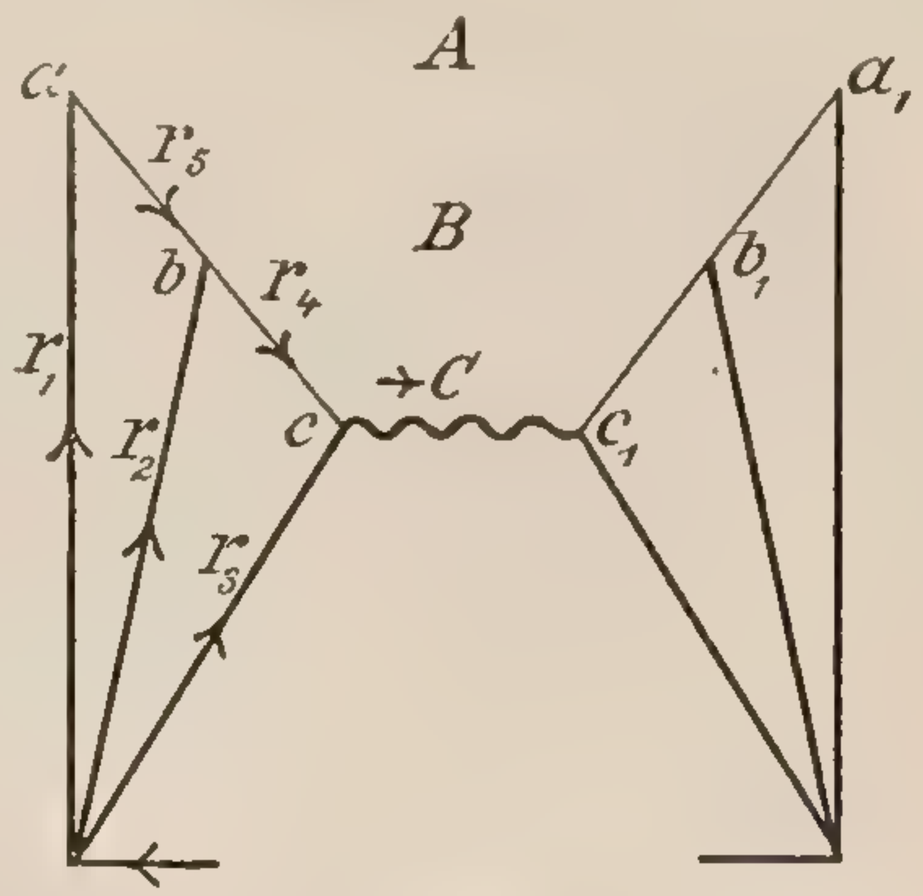


Fig. 138.

$$r_{44} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_3 r_3 (r_1 + r_2) - (2r_2 + r_1)} \quad . \quad . \quad . \quad (11$$

$$r_{54} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_3 r_3 r_2 - (2r_2 + r_3)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12$$

V. Stationen B und C unbelastet (Fig. 139). In 9 und 10 $J_3 = 0$ setzend erhält man:

$$r_{45} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_1 r_1 r_2 - (2r_2 + r_1)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13$$

$$r_{55} = \frac{Z}{2\times 0{,}99\,J_1 r_1 (r_2 + r_3) - (2r_2 + r_3)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14$$

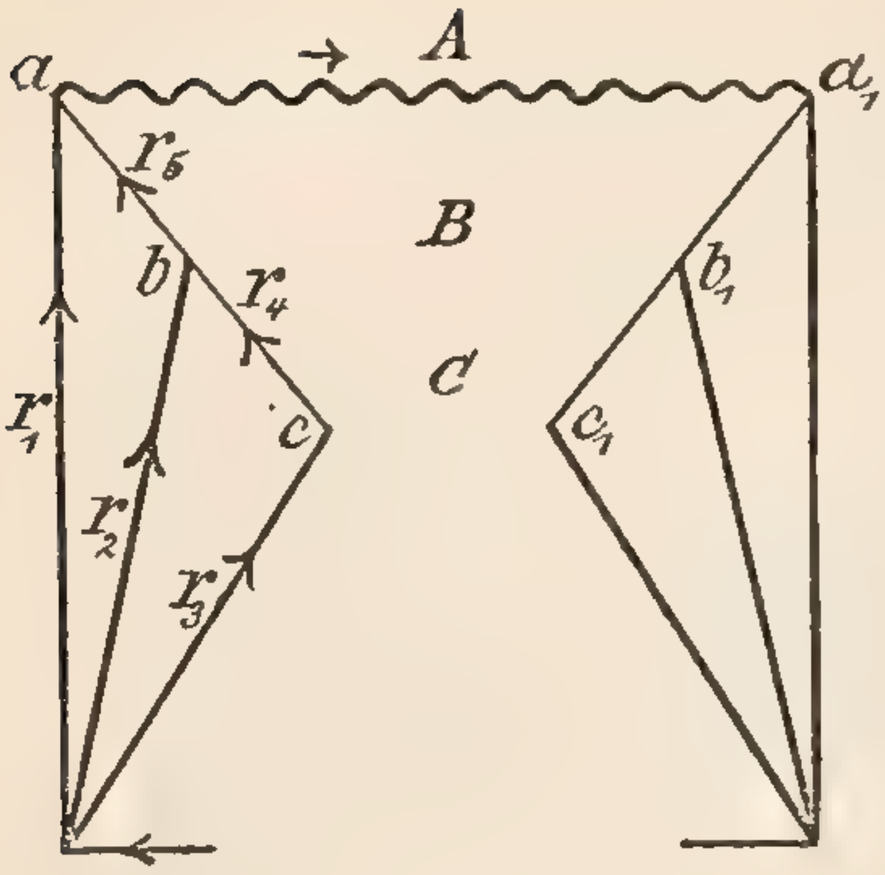


Fig. 139.

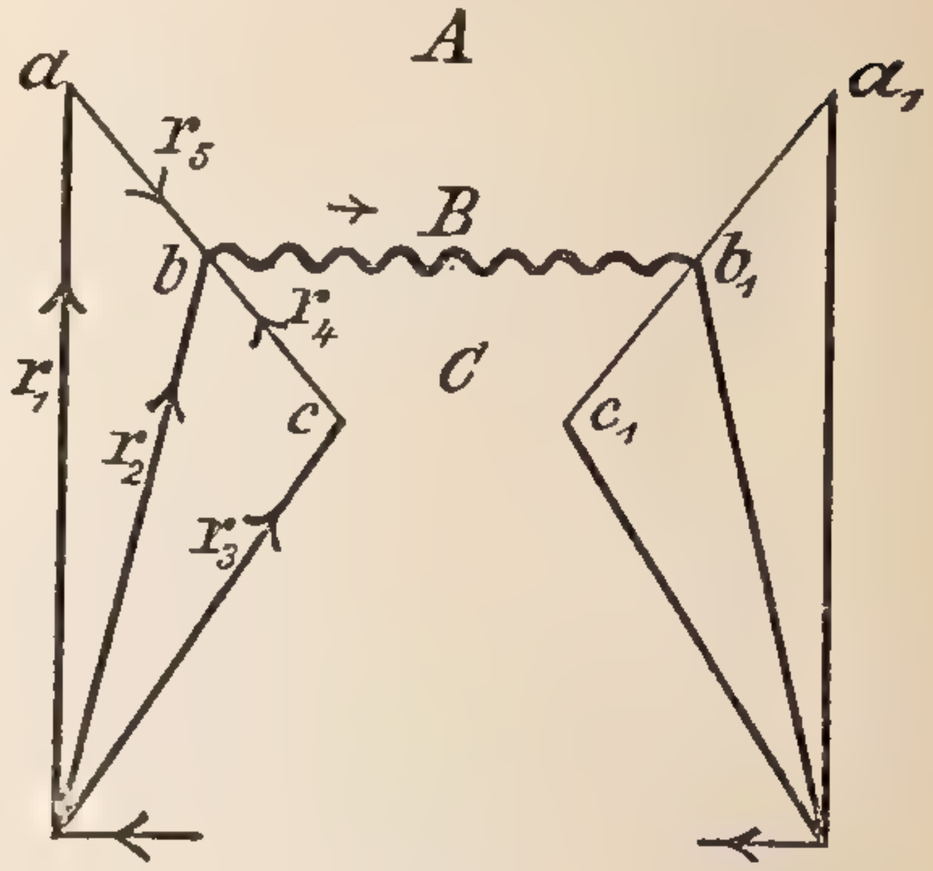


Fig. 140.

VI. Stationen A und C frei (Fig. 140). Hier können in A und C nur höhere Spannungen herrschen als in B. Die Kirchhoff'schen Sätze besagen:

$$i_1 r_1 = i_3 r_3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15$$

$$i_2 r_2 = \frac{1}{2} + i_3 r_3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16$$

oder

$$\frac{r_1}{2r_5} = \frac{r_3}{r_4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15a$$

$$\left(J_2 - \frac{1}{2r_4} - \frac{1}{2r_5}\right) r_3 = \frac{1}{2} + \frac{r_3}{2r_4} \quad . \quad . \quad (16a$$

so dass

$$r_{46} = \frac{Z}{2 J_2 r_2 r_1 - r_1} \quad . \quad . \quad (17$$

$$r_{56} = \frac{Z}{2 J_2 r_2 r_3 - r_3} \quad . \quad . \quad (18$$

Nachdem so die hauptsächlichsten Fälle betrachtet sind, handelt es sich darum, die passende der sechs Widerstandskombinationen zu wählen. Hier kann man

in zweifacher Weise verfahren: Entweder nimmt man diejenigen Widerstände r_4 und r_5, die der grössten Konsum-Schwankung entsprechen, oder man wählt das kleinste r_4 und r_5. Dass in letzterem Falle die gestellten Anforderungen nicht völlig erfüllt werden können, folgt schon daraus, dass r_4 und r_5 voneinander abhängen und im allgemeinen die zusammengehörigen kleinsten Werte nicht einem der obigen Hauptfälle genügen. Doch ist die hierbei erzielte Annäherung im allgemeinen hinreichend. Hier kann nur die zuletzt angegebene Art der Auswahl betrachtet werden.

Da ergiebt nun zunächst eine Betrachtung der Widerstände mit dem Index 4, dass $r_{42} < r_{45}$, $r_{44} < r_{41}$, $r_{44} < r_{43}$. Es ist also zwischen r_{42}, r_{44} und r_{46} zu wählen.

Nun sollen der allgemeinen Praxis gemäss die Widerstände der Hauptleitungen so bestimmt sein, dass auf jedem der drei Wege [1]) gleich viel Spannung 2 $\mathfrak{C}$ verloren gehe. Dann ist $r_1 = \frac{\mathfrak{C}}{J_1}$, $r_2 = \frac{\mathfrak{C}}{J_2}$, $r_3 = \frac{\mathfrak{C}}{J_3}$.

Dies berücksichtigend, erhält man für r_{42} die Beziehung:

$$r_{42} = \frac{Z}{2\,(0{,}99\,J_1 + J_2)\,\mathfrak{C}^2 \quad \mathfrak{C}\,(2\,J_1 + J_2)} \quad . \quad (19$$
$$\overline{\qquad\qquad J_1\,J_2 \qquad\qquad} - \overline{\qquad J_1\,J_2 \qquad}$$

und für r_{44}:

---

[1]) der Hauptzuleitung.

$$r_{44} = \frac{Z}{\frac{2\,(0{,}99\,J_1 + 0{,}99\,J_2)\,\mathfrak{E}^2}{J_1\,J_2} - \frac{\mathfrak{E}\,(2\,J_1 + J_2)}{J_1\,J_2}} \quad (20$$

Es ist also $r_{42} < r_{44}$, so dass jetzt noch zwischen r_{42} und r_{46} zu wählen ist. Durch die Einführung von $\mathfrak{E}$ wird aus Gleichung 17:

$$r_{46} = \frac{Z}{\frac{2\,\mathfrak{E}^2}{J_1} - \frac{\mathfrak{E}}{J_1}}.$$

Daher wird $r_{42} \gtreqless r_{46}$, je nachdem

$$\frac{2\,(0{,}99\,J_1 + J_2)\,\mathfrak{E}^2}{J_1\,J_2} - \frac{\mathfrak{E}\,(2\,J_1 + J_2)}{J_1\,J_2} \gtreqless \frac{2\,\mathfrak{E}^2}{J_1} - \frac{\mathfrak{E}}{J_1} \quad (21$$

oder je nachdem $\mathfrak{E} \gtreqless 1{,}01$ Volt.

Man hat also r_{42} oder r_{46} zu wählen, je nachdem man den Gesamtspannungsverlust **grösser** oder **kleiner** als **2,02** Volt nimmt.

Analog findet man, dass $r_{51} < r_{54}$, $r_{55} < r_{52}$, $r_{54} < r_{53}$. Man hat deshalb zwischen r_{51}, r_{55} und r_{56} zu wählen.

Da nun

$$r_{51} = \frac{Z}{\frac{2\,(J_2 + 0{,}99\,J_3)\,\mathfrak{E}^2}{J_2\,J_3} - \frac{\mathfrak{E}\,(2\,J_3 + J_2)}{J_2\,J_3}} \quad . \quad (22$$

$$r_{55} = \frac{Z}{\frac{2 \times 0{,}99\,(J_2 + J_3)\,\mathfrak{E}^2}{J_2\,J_3} - \frac{\mathfrak{E}\,(2\,J_3 + J_2)}{J_2\,J_3}} \quad . \quad (23$$

so ist zunächst $r_{51} < r_{55}$, weshalb nur noch zwischen r_{51} und r_{56} zu wählen ist. Auf gleiche Weise wie oben ergiebt sich hierbei, dass man r_{51} oder r_{56} zu wählen

hat, je nachdem man den Gesamtspannungsverlust 2 € **grösser** oder **kleiner** als **2** Volt nimmt.

Bisher war über die Wahl des Spannungsverlustes in den Hauptleitungen nichts festgesetzt worden; und gerade dieser Spannungsverlust ist es, der in bestimmten Fällen die Anwendung des bisher beschriebenen Ausgleichssystemes erfordert. Es kommt hinzu, dass bei der Benutzung von Ausgleichsleitungen die zweckmässige Bestimmung des Spannungsverlustes, wie sich bald zeigen wird, von Umständen abhängt, die zum Teil von den in einfacheren Leitungssystemen auftretenden wesentlich verschieden sind.

Bezeichnet man mit q den Kupferquerschnitt eines Kabels, mit l dessen Länge, mit r seinen Widerstand, mit a b c k schliesslich Konstante, so kann man den Preis desselben bekanntlich durch

$$k = c\,l\,(a\,q + b) = c\,l\left(\frac{a\,l}{r\,k} + b\right) \quad . \quad . \quad . \quad (24$$

ausdrücken. Ist l eine Konstante, so kann man auch setzen:

$$k = \frac{\mathfrak{A}}{r} + \mathfrak{B}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24a$$

worin $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ leicht bestimmbare konstante Grössen sind.

Die Anlagekosten der gesamten oben behandelten Leitung werden somit

$$K = \frac{\mathfrak{A}_1}{r_1} + \frac{\mathfrak{A}_2}{r_2} + \frac{\mathfrak{A}_3}{r_3} + \frac{\mathfrak{A}_4}{r_{42}}\,^{1)} + \frac{\mathfrak{A}_5}{r_{51}}\,^{1)} + \mathfrak{B}' \quad . \quad (25$$

---

[1]) Es sei hier angenommen, dass man € jedenfalls grösser als 1,01 Volt wählen werde.

Führt man hier wieder $\mathfrak{C}$ und $J_1\,J_2\,J_3$ anstatt $r_1\,r_2\,r_3$ ein, so wird

$$K = \frac{1}{\mathfrak{C}}(\mathfrak{A}_1 J_1 + \mathfrak{A}_2 J_2 + \mathfrak{A}_3 J_3) +$$

$$\mathfrak{A}_4 \frac{\mathfrak{C}\times 2\,(0{,}99\,J_1 + J_2) - 2\,(J_1 + J_2)^*)}{\mathfrak{C}\,\dfrac{J_1 + J_2 + J_3}{J_3}} +$$

$$\mathfrak{A}_5 \frac{C\times 2\times 0{,}99\,(J_2 + J_3) - (2\,J_3 + J_2)^*)}{\mathfrak{C}\,.\,\dfrac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1}} \quad . \quad (26$$

Wie ersichtlich, kann man unter Einführung neuer Konstanten auch schreiben:

$$K = (D - E)\cdot\frac{1}{\mathfrak{C}} + F \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27$$

Diese Gleichung enthält zwei wichtige Eigenschaften des behandelten Systemes.

Erstens besagt sie, dass die Abhängigkeit der Anlagekosten der Leitung vom Spannungsverluste, nicht wie bei dem gewöhnlichen System durch eine gleichseitige Hyperbel, deren Asymptoten die Achsen des rechtwinkeligen Koordinatensystemes sind, dargestellt wird; sie wird vielmehr durch eine Kurve gebildet, deren Ordinaten durch die Summe oder Differenz der Ordinaten einer Parallelen zur × Achse und derjenigen einer gleichseitigen Hyperbel erhalten werden. Daraus folgt die zweite Eigenschaft:

---

*) Diese Ausdrücke ergeben sich, wenn man in r_{42} und r_{51} auch Z durch $\mathfrak{C}$ und J . . . ausdrückt.

Die Anlagekosten streben mit wachsendem Spannungsverlust einem **endlichen** Grenzwert zu.

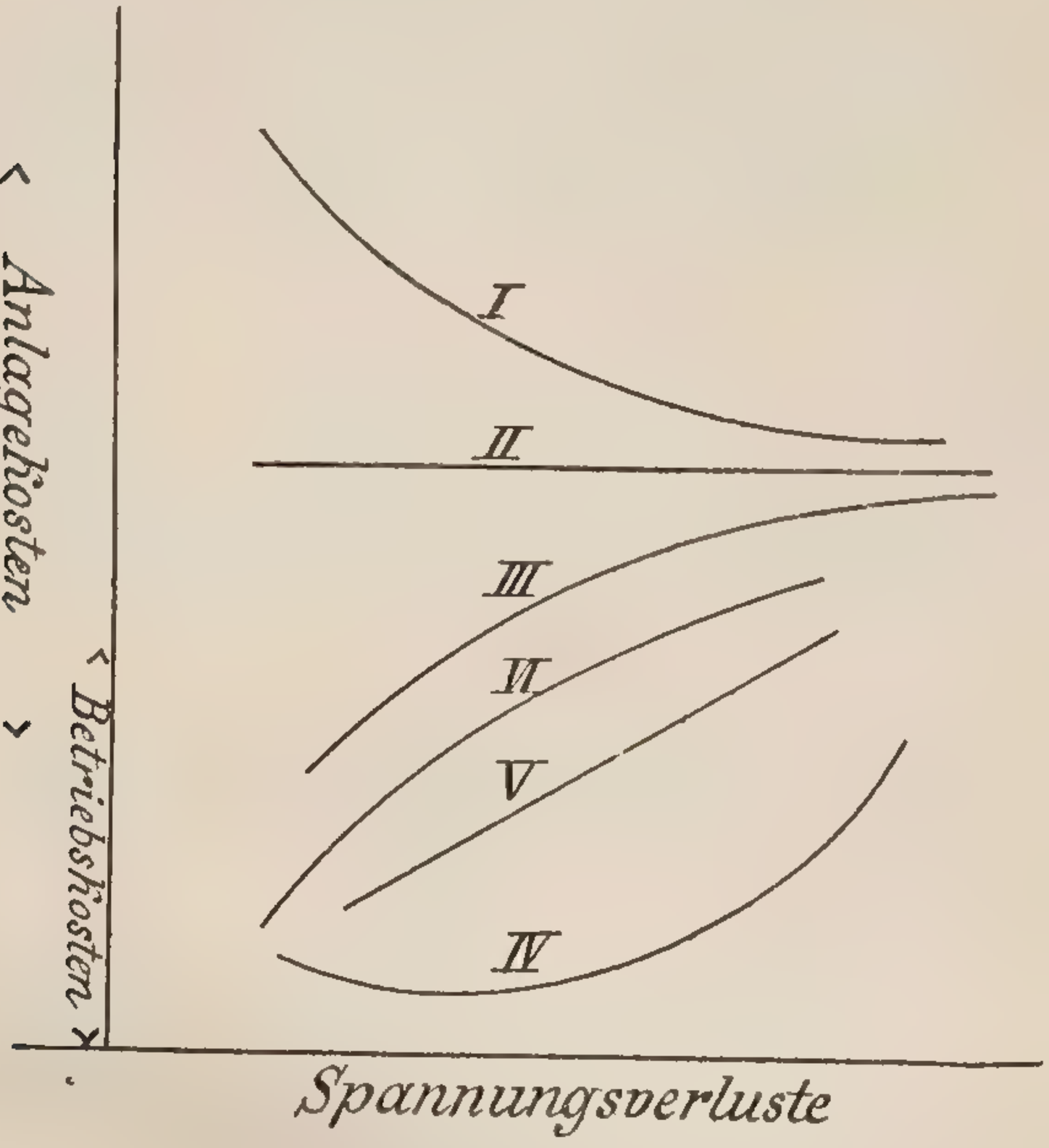


Fig. 141.

Die Kurve selbst kann drei von einander wesentliche Formen besitzen; je nachdem D $\gtrless$ E ist, nimmt sie die Formen I, II oder III in Fig. 141 an.

Massgebend für die Wahl des Spannungsverlustes ist ferner die Abhängigkeit desselben von den Betriebskosten, oder umgekehrt die Abhängigkeit der letzteren vom ersteren.

Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus den Zinsen des Anlagekapitales, den Kosten des Arbeitsverlustes in den Hauptleitungen und den Kosten des Arbeitsverlustes in den Ausgleichsleitungen. Bei Benutzung der neuen Konstanten n, G, H, welche auf den Zinsfuss, die Zeit der Benutzung und den Preis der Arbeitseinheit Bezug haben, lassen sich die Betriebskosten ausdrücken durch

$$S = \underbrace{n\,\frac{D-E}{\mathfrak{C}} + n\,F}_{\text{Zinsen des Anlagekapitales.}} + \underbrace{G\,\mathfrak{C}}_{\substack{\text{Kosten des Arbeitsverlustes}\\ \text{in den Hauptleitungen.}}} + \underbrace{H\left(\frac{E}{\mathfrak{C}} + F - B'\right)}_{\substack{\text{Kosten des Arbeitsverlustes in den Ausgleichsleitungen.}}} \quad \ldots (28$$

oder durch

$$S = \frac{1}{\mathfrak{C}}\left[D\,n - E\,(n-H)\right] + G\,\mathfrak{C} + H\,(F - B') \ldots (28a$$

Ist $Dn > E(n-H)$, so existiert ein Minimum der Betriebskosten (Fig. 141) IV; ist $Dn \leqq EX (n-H)$, so existiert **kein** Minimum der Betriebskosten mehr. Vergl. V, VI in Fig. 141.

Also auch hierin tritt ein wesentlicher Unterschied in den Eigenschaften dieses Systemes und des einfachsten auf.

An der Hand dieser graphischen Darstellungen wird es im allgemeinen nicht schwer fallen, in konkreten Fällen den zweckmässigsten Spannungsverlust zu bestimmen.

Die Beantwortung der Frage, wann das besprochene System dem einfacheren, bei welchem so starke Leitungen

genommen werden, dass die grössten Schwankungen im Konsum von vorneherein nur geringe Spannungsänderungen hervorrufen, vorzuziehen ist, hängt von den Verhältnissen eines jeden Falles ab. Wenngleich eine völlig allgemeine Lösung dieses Problemes leicht durchführbar ist, so dürfte es doch, wie bemerkt, zweckmässiger sein, in jedem bestimmten Falle rechnerisch die Vorteile abzuwägen, weil schon bei drei Stationen eine grosse Reihe von Gliedern die betr. Formeln für den Gebrauch komplizieren würden.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MÜNCHEN

Namen- und Sachregister.

A.

Abzweig- und Verteilungskästen 161.
Aird 139.
Akkumulatoren 53, 56, 90.
Akkumulatorenbetrieb 239, 249.
Aktiengesellschaft „Helios“, Ehrenfeld-Cöln 31, 33, 285.
Alioth & Cie., Basel 7, 85, 169, 238.
Allen, W. H. & Cie., London 13.
Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft in Berlin 47, 172, 176, 177, 190, 210, 226.
Anforderungen an eine Zentralstation 218.
Anwendungen der Akkumulatoren in der Praxis 69.
Arnold & Cramer 139.
Aron, Dr. 196.
Ausschalter 204.

B.

Baumgardt 103, 110, 360.
Berliner Maschinen-Aktiengesellschaft 33.
Bernstein 80, 88.
Betrieb, durchgehender Tag- und Nachtbetrieb 220.
Betriebskostenermittelung 239.
Betriebsspesen 309.
Bleikabel 141.
Brook 139.
Brückner, Ross & Cons., Wien 179.
Brush 42, 56, 79.
Brush-Akkumulatoren 68.
Bürgin-Maschine 6.
Büsche & Müller, Hagen i. W. 56, 66.
Buss, Sombart & Cie., Magdeburg 194.

C.

Cannstadt, elektrotechnische Fabrik 23, 116.

Chenewoth 139.
Correns 36.
Crompton, E. R., England 7, 10, 19, 225, 236.
Cuènod Sautter & Cie., 49.

D.

Dreileitersystem 89, 238, 246.

E.

Edison Electric Light Cie. 259.
Edison-Maschine 47.
Edison, Th. A. 47, 88, 105, 195.
Einstein, J. & Cie., München 19, 37,
Einziehsysteme 138.
Electrical Power Storage Company, London 56, 58.
Elektrizitäts-Maatschappy, Rotterdam 56, 72.
Elektrizitätsmesser 194, 201.
Elektrotechnische Fabrik, Cannstadt 23, 116.
Elihu Thomson 111.
Elwell Parker & Co., Wolverhampton 60.
Endverschlüsse 152.
Erdschlussanzeiger 188.

F.

Farbaky - Schenek - Akkumulatoren 63.
Faure 55.
Fein, C. & E., Stuttgart 13, 16, 38, 39.
Felten & Guilleaume 141.
Fernspannungs-Regulator 121.
Ferranti 196.
Fischinger, Dresden 117.
Flachringmaschinen 27.
Flad 138.
Forbes 140.
Fortin, Hermann 140.
Fritsche 226, 238, 240, 348.

G.

Ganz & Cie., Budapest 38, 41, 226.
Garbe, Lahmeyer & Cie., Aachen 52.
Gelz & Odendall 56, 64.
Gemischte Schaltung 84.
Gerade Muffen 158.
Gleichstrommaschine mit Innenpolen 39.
Gramme 3.
Gruppenschaltung von Reihen 88.
Gülcher 31.

H.

Hartmann & Braun 168, 174.
v. Hefner-Alteneck 45.
v. Hefner-Alteneck'sche Wicklung 45, 47.
Higgins 68.
Hochenegg 305.
Hopkinson 90.
Horn, Dr. 194.

Huber, J. L., Hamburg 56, 61, 94.
Hummel 169.

I.

Innenpolmaschinen 38.
Joule 308.

K.

Kapazität der Akkumulatoren 56.
Kapp, Gisbert 12.
de Khotinsky 62, 98.
Kohlrausch 67, 168.
Kontroll-Apparat von Brückner, Ross & Cons. 179.
Kremenezky, Mayer & Cie, Wien 21.

L.

Lahmeyer & Cie. 52, 121.
Lampenzähler 172.
Lebensdauer der Akkumulatoren 56.
Leitungen 135.
Leitungsnetz 303.

M.

Manchester-Dynamo 21.
Maschinenfabrik Örlikon bei Zürich 23.
Maschinen mit Trommel-Armatur 45.
Mather & Platt 21, 73.
Messinstrumente, selbstregistrierende 183.
Methode von Fritsche 348.
,, ,, Hochenegg 305.
Methoden zur Berechnung des Leitungsnetzes 303.
Möhring, H. G, Frankfurt a. M. 36.
Monnier 96.
Muffen 158, 160.

N.

Naglo, Gebr., Berlin 15.
Nebenapparate 165.
Normalmaschinen 33.
Normalquerschnitte 143.

O.

Örlikon, Maschinenfabrik bei Zürich 23.

P.

Parallelschaltung 81.
Parker, Elwell & Cie. 16, 60.
Patent-Blei-Doppelkabel 151.
Patent-Blei-Dreileiterkabel 151.
Patent-Bleikabel 145.
Patterson & Cooper 19.
Phönix-Dynamo 19.
Planté 55.

Q.

Quadratringmaschine 36, 37.
Querschnitt, feuersicherer, 307.
,, rentabler 311.

R.

Reckenzaun 56, 68.
Regulierungsmethoden von Baumgardt 360.
Regulierungssysteme 99, 102.

Reihen- oder Hintereinanderschaltung 78.
Reihenschaltung von Gruppen 84.
Rentabilitätsberechnung 239.
Rühlmann 225, 237.

S.

Sautter, Lemonnier & Cie., Paris 4.
Sautter & Cie. 49.
Scharnweber 168.
Schorch & Wilk, Darmstadt 27.
Schuckert, Nürnberg 26, 27, 73, 169, 175, 183.
Schulz, O., Strassburg 116.
Schumann & Köppe 4.
Selbtregistrierende Messinstrumente 183.
Sicherheitsschaltungen 204, 207.
Siemens'sche Bleikabel 141.
Siemens & Halske, Berlin, 38, 41. 113, 141, 168, 186, 201, 226.
Spannungsmesser 173.
Spannungsmesser mit optischer und akustischer Signalgebung 177.
Spannungsregistrierapparat 183, 186.
Spannungsregulator 116, 117.
Spannungsverlust, rentabler 312.
Spannungswecker 182.
Spiecker & Co., Köln 35, 287.
Stromfortleitungskosten 308.
Strommesser 167.

T.

Tachometer 193.
Temesvár 80.
Thomson, E. 111.
T-Muffen 160.
Transformatoren 91.
Transformatorensystem 239.
Trommel-Armatur 45.
Trommelringmaschinen 3, 27.
Tudor, Henry und Hubert 66.
Tudor'sches System 56, 59, 66.
Tunnelanlagen 138.

U.

Umschalter 204, 205.
Uppenborn 167, 174, 261.

V.

Verteilungskästen 161.
Verteilungssysteme 75.
Verwendbarkeit des Stromes 219.

W.

v. Waltenhofen 64, 68.
Wechselstromsysteme 238.
Westinghouse Elektric Company zu Trenton N.-Y. 265.
Wirkungsgrad der Akkumulatoren 57.
Woburn, Mass. 264.

Y.

Young, Charles 268.

Z.

Zentralen in Amerika 264.
„ „ Amsterdam 284.
„ „ Barmen 287.
„ „ Berlin 268.
„ „ Boston 264.
„ „ Breslau 262.
„ „ Brooklyn 264.
„ „ Châteaulin 263.
„ „ Cöln 262.
„ „ Darmstadt 263.
„ „ Dessau 262.
„ „ Elberfeld 262.
„ „ England 263.
„ „ Fontainebleau 263.
Zentralen in Frankreich 263.
„ „ Hamburg 262.
„ „ Hannover 261.
„ „ Lübeck 276.
„ „ Mailand 259.
„ „ Nashua N.-H. 264.
„ „ Neue Friedrichstr., Berlin 98, 286.
„ „ Philadelphia 264.
„ „ Salzburg 262.
„ „ Trenton 265.
„ „ Wien 263.
„ „ Woburn 264.
Zuverlässigkeit der Zentralstat. 218.
Zweileitersystem 237.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Krieg, Martin

Die Erzeugung und Verteilung der Elektrizität in Zentral-Stationen

Bd.: 2

1888

Techn. 2071 y-1/2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11889804-7